

**GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN BİR MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI
İZLEME ALGORİTMALARI SINAMA DÜZENEĞİNİN TASARIMI
VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

AHMET BAHADIR BÜLBÜL

**YÜKSEK LİSANS
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2011

ANKARA

Ahmet Bahadır BÜLBÜL tarafından hazırlanan “GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN BİR MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMALARI SINAMA DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç.Dr. Timur AYDEMİR
Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Müzeyyen SARITAŞ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, G.Ü.

Doç.Dr. Timur AYDEMİR
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, G.Ü.

Prof. Dr. Ö. Faruk BAY
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, G.Ü.

Tarih : 28 / 09 / 2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet Bahadır BÜLBÜL

**GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN BİR MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME
ALGORİTMALARI SINAMA DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ahmet Bahadır BÜLBÜL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2011**

ÖZET

Bilindiği üzere güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güneş panellerinin akım gerilim karakteristikleri doğrusal değildir. Panelden çekilen akım arttıkça gerilim düşmekte, panel gücü de değişmektedir. Ancak, uygun bir denetim yöntemiyle karakteristiğinin maksimum güç elde edilen noktasında çalışmak olasıdır. Değişen çevre ve yük koşullarında karakteristiğinin maksimum güç elde edilen noktasında çalışmayı sağlayan çeşitli Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI) yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu tezde, çeşitli MGNI yöntemlerini deneyebilmek amacıyla bir düzeneğin tasarımı ve gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 130 W gücündeki üç adet güneş panelinden alınan enerjiyi, yükselten bir DA-DA dönüştürücü aracılığıyla elektrikli bir aracın bataryasını doldurmakta kullanan bir devre tasarlanmıştır. Yaygın olarak kullanılan MGNI algoritmalarından üçü

mikroişlemci tabanlı bu devrede sınırlanmıştır. Tezde, güneş panelleri ve MGNI izleme yöntemleri ile ilgili ayrıntılı kuramsal inceleme yapılmış, sistemin çalışması benzetim ve deneyler aracılığıyla gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 905.1.033
Anahtar Kelimeler : Güneş Enerjisi, Maksimum Güç Noktası İzleme, Yükselten DA-DA Dönüştürücü
Sayfa Adedi : 73
Tez Yöneticisi : Doç.Dr.Timur AYDEMİR

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TEST BED FOR MAXIMUM
POWER POINT TRACKING ALGORITHMS OF PHOTOVOLTAIC
PANELS
(M.Sc. Thesis)**

Ahmet Bahadır BÜLBÜL

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2011**

ABSTRACT

It is well known that the current-voltage characteristics of photovoltaic panels are not linear. As the current drawn from the panel changes, the voltage and power also vary. However, operation at the point of the characteristic that yields the maximum available power is possible by applying a proper control technique. Several Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms that guarantee the operation at this point under varying environmental and load conditions have been previously developed.

Design and implementation of a set-up to test different MPPT algorithms is aimed in this thesis. A system that charges the battery of an electric vehicle by using the energy coming from three 130 W PV panels by using a boost DC-DC converter has been designed and built. Three of the most commonly used MPPT algorithms have been tested in this microprocessor based circuit. Detailed

information related to MPPT algorithms and solar panels has been given in this thesis. Also, operation of the system has been shown through several simulation and experimental results.

Science Code : 905.1.033
Key Words : Solar Energy, MPPT, Boost DC-DC Converter
Page Number : 73
Adviser : Assoc. Prof.Dr. Timur AYDEMİR

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım sırasında yakın ilgi ve önerileriyle yol gösteren ve desteğini esirgemeyen danıőmanım Sayın Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR'e ve bana eğitim hayatım boyunca her daim destek olan eőime ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ PİLLERİ VE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ İZLENMESİ	3
2.1. Güneş Pilleri.....	3
2.2. Güneş Pilinin Eşdeğer Devresi	4
2.3. Güneş Pilinin Maksimum Güç Noktası	5
2.4. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ).....	7
2.5. MGNİ Uygulama Yöntemleri	8
2.6. MGNİ Algoritmaları	9
3. YÜKSELTEN (BOOST) DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ.....	13
3.1. Yükselten Dönüştürücünün Yapısı	13
3.2. Yükselten (Boost) Dönüştürücünün Analizi.....	14
3.1.1. Sürekli iletim modu.....	15
3.1.2. Kesikli iletim modu.....	17
4. DONANIMSAL TASARIM	23
4.1. Güneş Panelleri	24

Sayfa

4.2. Yükselten (Boost) Dönüştürücü Tasarımı	25
4.1.1. Endüktör seçimi	26
4.1.2. Yarıiletken anahtarlama elemanının seçimi	30
4.1.3. Diyot seçimi	32
4.3. Kontrol Devresi.....	33
4.4. Akım Algılayıcısı (Sensörü)	35
4.5. Gerilim Algılayıcısı (Sensörü).....	35
4.6. Mosfet Sürücüsü	36
4.7. Batarya Şarj Limiti.....	36
4.8. LCD Arayüzü.....	37
4.9. Haberleşme Arayüzü.....	38
4.10.Dahili Güç Beslemeleri.....	39
5. MGNİ YAZILIM UYGULAMASI.....	40
5.1. Değiştir ve Gözlemle Yöntemi ve Uygulaması	40
5.2. Üç Noktalı Ağırlıklı Karşılaştırma Yöntemi ve Uygulaması.....	43
5.3. Tepe Tırmanışı Yöntemi ve Uygulaması	45
6. MGNİ REGÜLATÖR SİSTEMİNİN DENEYSEL SONUÇLARI	48
6.1. Maksimum Güç Noktası Testi	48
6.2. MGNİ Algoritmalarının Karşılaştırmalı Testi	51
6.1.1. Algoritma A ve B'nin karşılaştırılması	53
6.1.2. Algoritma A ve C'nin karşılaştırılması	55
6.1.3. Algoritma B ve C'nin karşılaştırılması	57
6.3. Elektrikli Araç Üzerindeki Uygulama	58
7. SONUÇ	61

Sayfa

KAYNAKLAR	62
EKLER	64
EK-1. Güneş paneli katalog bilgileri.....	65
EK-2. Değiştir ve gözlemle yöntemi yazılım kodları	66
EK-3. Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma yöntemi yazılım kodları.....	68
EK-4. Tepe tırmanışı yöntemi yazılım kodları	70
ÖZGEÇMİŞ	73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Sistemin giriş ve çıkış parametreleri.....	25
Çizelge 5.1. Değiştir ve gözlemle algoritmasının özeti	41
Çizelge 5.2. Tepe tırmanışı algoritmasının özeti	46
Çizelge 6.1. Test edilen güneş pilinin güç karakteristiği	49
Çizelge 6.2. MGNİ regülatör çalışma noktası.....	51
Çizelge 6.3. Karşılaştırmalı test senaryoları	53
Çizelge 6.4. Senaryo-1 ve Senaryo-2 de ortalama güç değerleri	54
Çizelge 6.5. Senaryo-3 ve Senaryo-4 de ortalama güç değerleri	56
Çizelge 6.6. Senaryo-5 ve Senaryo-6’ da ortalama güç değerleri.....	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Güneş pili eşdeğer devre modeli.....	4
Şekil 2.2. Güneş pilinin güç karakteristiği	5
Şekil 2.3. Güneş pilinin değişen koşullara göre V-I karakteristiği	6
Şekil 2.4. Güneş pilinin değişen koşullara göre V-P karakteristiği	7
Şekil 2.5. Güneş pili gerilim-akım karakteristiği	8
Şekil 2.6. MGNİ blok şeması	9
Şekil 3.1. Yükselten dönüştürücü devre şeması.....	13
Şekil 3.2. Endüktör üzerindeki gerilim ve akımın dalga biçimleri	14
Şekil 3.3. Sürekli iletim modu grafiği.....	15
Şekil 3.4. Transistörün açık konumu.....	16
Şekil 3.5. Transistörün kapalı konumu	16
Şekil 3.6. Kesikli iletim modu	18
Şekil 3.7. Transistörün açık konumu.....	18
Şekil 3.8. Transistörün kapalı konumu	19
Şekil 3.9. Endüktör akımının sıfır hali	19
Şekil 3.10. Endüktör akımı	20
Şekil 3.11. Diyot akımı	21
Şekil 4.1. Donanımsal blok şema.....	23
Şekil 4.2. Güneş panelleri	24
Şekil 4.3. Enerji miktarına göre uygun AP değerleri.....	28
Şekil 4.4. Yükselten dönüştürücü devresi	33
Şekil 4.5. LCD arayüzü.....	34
Şekil 4.6. Akım algılayıcı devresi	35

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Gerilim algılayıcı devresi.....	35
Şekil 4.8. Mosfet sürücüsü	36
Şekil 4.9. Batarya şarj limiti.....	37
Şekil 4.10. LCD arayüzü.....	38
Şekil 4.11. Haberleşme arayüzü.....	38
Şekil 4.12. Dahili güç besleme devresi	39
Şekil 5.1. Hızlı değişen koşullarda P&O algoritmasının hata durumu	41
Şekil 5.2. Değiştir ve gözlemle algoritması	42
Şekil 5.3. Üç farklı noktada mümkün olan örnekleme durumları.....	43
Şekil 5.4. Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma algoritması.....	44
Şekil 5.5. Tepe tırmanışı yöntemi akış şeması	46
Şekil 6.1. Maksimum güç noktası testi - birinci aşama test düzeneği.....	49
Şekil 6.2. Test edilen güneş pilinin gerilim-akım karakteristiği	50
Şekil 6.3. Maksimum güç noktası testi - ikinci aşama test düzeneği.....	50
Şekil 6.4. Algoritmaların karşılaştırılmaları için test düzeneği	52
Şekil 6.5. Senaryo-1 test sonucu	54
Şekil 6.6. Senaryo-2 test sonucu	54
Şekil 6.7. Senaryo-3 test sonucu	55
Şekil 6.8. Senaryo-4 test sonucu	56
Şekil 6.9. Senaryo-5 test sonucu	57
Şekil 6.10. Senaryo-6 test sonucu	57

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. MGNI regülatör sistemi	51
Resim 6.2. MGNI algoritmalarının karşılaştırmalı testi.....	52
Resim 6.3. Elektrikli araç uygulaması - 1	59
Resim 6.4. Elektrikli araç uygulaması - 2	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
D	Duty Cycle
A_e	Effective cross section of the core (cm ²)
A_w	Effective cross section of the winding (cm ²)
I_{pk}	Tepe (peak) akımı
Kısaltmalar	Açıklama
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MGNİ	Maksimum Güç Noktası İzleme
DA	Doğru Akım
DC	Direct Current
CCM	Continuous Conduction Mode
DCM	Discontinuous Conduction Mode
LCD	Liquid Crystal Display
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
P&O	Perturb and Observation
MP&O	Modified Perturb and Observation
AP	Area Product (Alan Çarpanı)
IEEE	International Electric Electronic Engineering
I/O	Input/Output
DSP	Digital Signal Processing
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

1. GİRİŞ

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü güneş pilleri ile sağlanmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan güneş pillerinin verimlilikleri yapısına göre değişmekle birlikte, bu değer genellikle %5-%20 arasındadır. Enerji dönüşümündeki verimin çok yüksek olmaması, üretilen elektrik enerjisinden en iyi şekilde istifade edilmesi konusuna önem kazandırmıştır.

Güneş pilleri, doğrusal olmayan bir akım gerilim karakteristiğine sahiptir. Panel gerilimi ve gücü, çekilen akıma bağlı olarak değişir. Ayrıca, panellerin yüzeylerine düşen güneş ışınlarının şiddeti, açısı ve ortam sıcaklığı gibi değişkenlere bağlı olarak karakteristik de değişir ve üretilen enerjinin miktarı değişir. Değişen koşullar karşısında panel çıkışını herhangi bir denetim olmadan kullanmak, panelden alınabilecek enerjinin düşük olmasına neden olur. Ancak, her koşulda karakteristiğinin maksimum güç elde edilen noktasını bularak mümkün olan en yüksek gücü elde etmeye çalışan Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI) yöntemlerinden biri kullanılarak bu sorun aşılabilir. MGNI yönteminde güneş pillerinden sürekli olarak okunan güç bilgileri ile güneş pilinin o an için en yüksek gücü verebileceği nokta belirlenir. MGNI yazılımı, pillerin bu noktada çalışmasını sağlayacak olan kontrolleri uygular.

Bu çalışmada, çeşitli MGNI yöntemlerinin sınanmasına olanak verecek bir düzeneğin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, üç adet 130 W gücünde panelin çıkışından elektrikli bir aracın bataryasını dolduran ve bu işlem sırasında MGNI algoritması kullanan bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen devrede DA-DA dönüştürücü olarak bir yükselten (boost) devre kullanılmıştır. Değiştir ve gözlemler (perturb and observation), üç nokta ağırlıklı karşılaştırma (three weight comparison), tepe tırmanışı (hill climbing) yöntemleri olmak üzere üç farklı MGNI algoritması mikroişlemci tabanlı bu düzende sınanmıştır. Algoritmaların aynı anda ve aynı koşullarda sınanabilmesini sağlamak amacıyla birbirleriyle olabildiğince özdeş iki sistem kurulmuş ve bu düzenekler aynı karakteristiklere sahip

ayrı panellerden beslenmiştir. Sistemler daha sonra çapraz sınamaya tabi tutularak yapılan çalışmanın güvenilirliği kontrol edilmiştir.

Yapılan karşılaştırmada değiştir ve gözlemler yöntemi ile tepe tırmanışı yöntemlerinin maksimum güç noktasını hızlı bir şekilde yakalayarak birbirleri ile yaklaşık aynı performansı gösterdikleri ancak maksimum güç noktasında sürekli olarak salınım halinde buldukları gözlemlenmiştir. Birbirleri ile kıyas edildiğinde tepe tırmanışı yönteminin, karar verme aşamalarında gerilim değerini referans almadığı için algılayıcı çözünürlüğü düşük olan sistemlerde daha doğru sonuçlar verebildiği görülmüştür. Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma yönteminin maksimum güç noktasında daha kararlı olduğu ancak maksimum güç noktasını yakalama konusunda diğer iki algoritmaya kıyasla daha düşük performanslı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, test edilen sistemlerdeki algılayıcı çözünürlüğünün bu yöntem için yetersiz olduğundan kaynaklanmıştır.

Tezin 2. Bölümünde, güneş pilleri ve MGNİ yöntemleri ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmektedir. 3. Bölümde yükselten DA-DA dönüştürücü devresi ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmektedir. Bu bölümde özellikle kesikli çalışma durumu da incelenmektedir.

Tezin 4. Bölümünde sistem tasarımı verilmektedir. Bu bölümde tüm sistem bileşenleri ayrıntılı olarak tanıtılmaktadır. Yarıiletken seçimi, endüktör tasarımı, denetleyici tasarımı, algılayıcılar ve kullanılan haberleşme yöntemi ile ilgili gerekli bilgiler sunulmaktadır.

Tezin 5. Bölümünde sınanan MGNİ algoritmalarının nasıl gerçekleştirildiği anlatılmaktadır.

Tezin 6. Bölümünde yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları verilmekte ve sonuçlar karşılaştırılmalı olarak irdelenmektedir.

Tezin genel değerlendirmesi 7. Bölümde verilmektedir.

2. GÜNEŞ PİLLERİ VE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ İZLENMESİ

2.1. Güneş Pilleri

Güneş pilleri güneş ışınlarından aldığı enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yarıiletken hücrelerdir. Belirli koşullar altında, ışığın (fotonların) yarıiletken üzerine absorbe edilmesi, elektrik akımını oluşturmaktadır. Bu çevrimin prensibi, yarıiletken üzerindeki sabit elektronların, serbest olarak hareket eden iletken elektronlara dönüşmeleri gerçeğine dayanmaktadır. Güneş pilleri aynı zamanda fotovoltaiik piller olarak da bilinir.

Güneş pilleri ağırlıklı olarak silikon tabanlı olsa da, günümüzde birçok farklı türden güneş pilleri de sektöre dâhil olmaktadır. Bu yeni türden hücreler, güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin daha düşük maliyetlerde üretilmesiyle ilgili potansiyel uygulamalar için çeşitlilik sağlamaktadır. “Hydrogenated amorphous silicon”, “cadmium teluride” ve “CIGS thin film cells” bu alternatif türlerden bazılarıdır [1-3].

Güneş pillerinin dünya üzerinde birçok farklı kullanım alanı vardır. Bunlardan bazıları şöyledir [1];

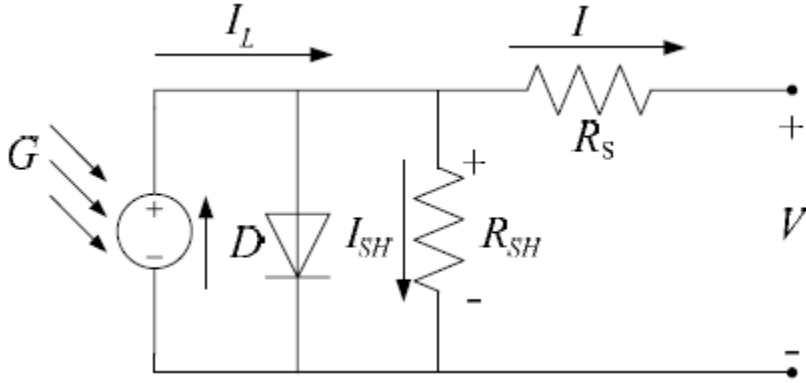
- Uydular
- Batarya içermeyen bağımsız sistemler
- Batarya içeren bağımsız sistemler
- Küçük modüller (örneğin hesap makineleri veya oyuncaklar)
- Yerleşim alanlarında şebekeye bağlı enerji üretim sistemleri
- Endüstriyel alanlarda şebekeye bağlı enerji üretim sistemleri
- Kamuya bağlı enerji üretim tesisleri

Artan çevresel farkındalık ve mevcut enerji kaynaklarının sınırlı olduğu bilgisi, elektrik enerjisi üretimi için güneş enerjisinin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisinin avantajları çok açık şekilde ortadadır. Güneş enerjisinde geleneksel enerji üretimlerinden farklı olarak; kurulum için gereksinimler azalır, yakıt

gerektirmez, yakıttan kaynaklanan çevresel etkileri yoktur. Direkt olarak en değerli enerji biçimi olan elektrik gücü elde edilmektedir. Avantajları olsa da, güneş panellerinin kurulum maliyetleri geleneksel enerji kaynaklarına göre fazladır ve bu durum güneş enerjisinin bugüne kadar istisnai alanlar dışında yaygın olarak kullanılmasının önüne geçmiştir [3].

2.2. Güneş Piliin Eşdeğer Devresi

Güneş pilinin eşdeğer devresi en basit haliyle bir akım kaynağı ve paralel bir diyottan oluşmaktadır. Akım kaynağının çıkışı güneş hücresi üzerine düşen ışık şiddeti ile orantılıdır. Şekil 2.1’de güneş pilinin yaklaşık eşdeğer devresi verilmiştir [4]. Güneş ışınlarının olmadığı ortamlarda akım kaynağı sıfırlanır ve güneş pili yalnızca bir diyot gibi davranır. Eşdeğer devredeki diyot güneş hücresinin gerilim-akım karakteristiğini belirleyen elemandır [4,25].



Şekil 2.1. Güneş pili eşdeğer devre modeli

Eşdeğer devre üzerinde bulunan R_s direnci maksimum güç noktası ile açık devre gerilimi arasındaki eğrinin gerçeğe daha yakın olmasını sağlamaktadır. R_{sh} direnci ise toprağa akan sızıntı akımını temsil etmekte olup genellikle ihmal edilmektedir.

İdeal bir hücrede $R_s = 0$ ve $R_{sh} = \infty$ kabul edilmektedir.

Devrenin çıkışındaki net akımın ifadesi Eş. 2.1 de verilmiştir [4].

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte kullanılan değişkenlerin anlamları şu biçimdedir:

I_L = Diyotun doyma akımı (A)

I_0 = Hücre akımı (A)

V = Hücre gerilimi (V)

q = Elektron yükü = $1.602177E-19$ (C)

k = Boltzmann sabiti = $1.380662E-23$ (J/K)

T = Sıcaklık (K)

n = diyotun kalite çarpanı

2.3. Güneş Pilinin Maksimum Güç Noktası

Bir güneş pilinin sabit güneşlendirme ve sıcaklık koşullarındaki gerilim-akım ve güç karakteristikleri Şekil 2.2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir;

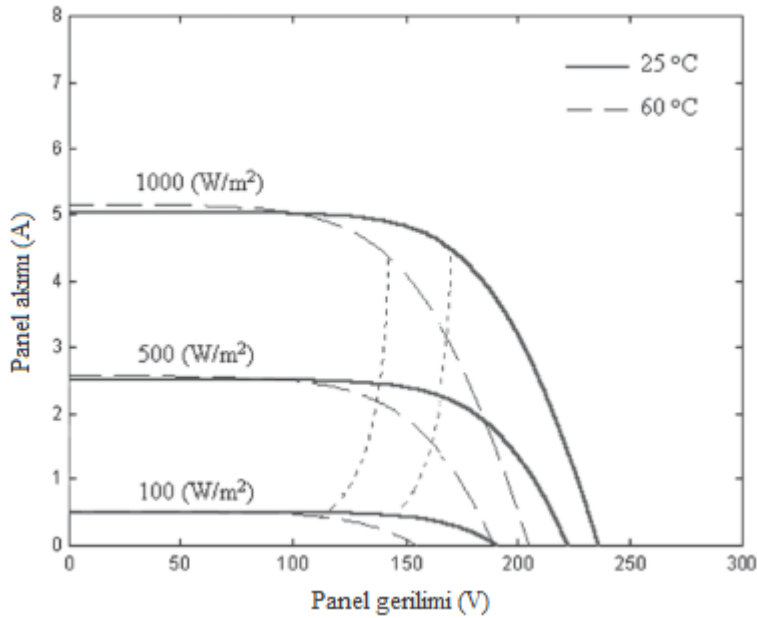


Şekil 2.2. Güneş pilinin güç karakteristiği

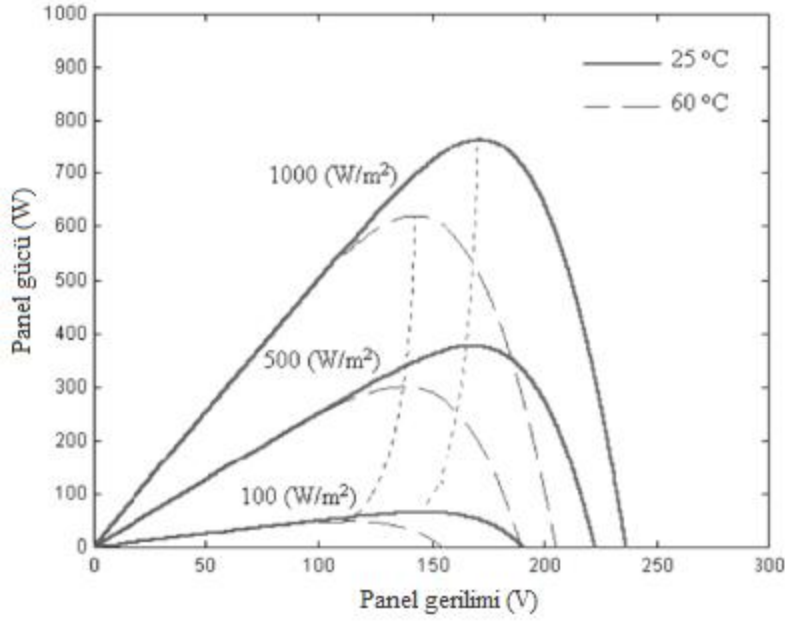
Şekil 2.2. 'de görüldüğü gibi güneş pilinden çekilen akım değerlerinin düşük olması durumunda panel gerilimi yaklaşık olarak sabitken, akımın kısa devre akım değerine

yaklaşmasıyla birlikte gerilim hızla düşmektedir. Değişimin hızlandığı dirsek noktası aynı zamanda panelden alınabilecek gücün en yüksek değere ulaştığı noktadır. Bu nokta maksimum güç noktası olarak adlandırılır ve çalışmanın yükek verimli olabilmesi için sistemin bu noktada bulunması arzu edilir.

Güneş pilinin gerilim akım karakteristiği güneş ışınlarının şiddetine, açısına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak sürekli değişmektedir. Bu durumda maksimum güç noktası da sağa, sola, yukarıya veya aşağıya doğru yer değiştirebilmektedir. Bu durumu açıklayan grafikler Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilmiştir [5].



Şekil 2.3. Güneş pilinin değişen koşullara göre V-I karakteristiği

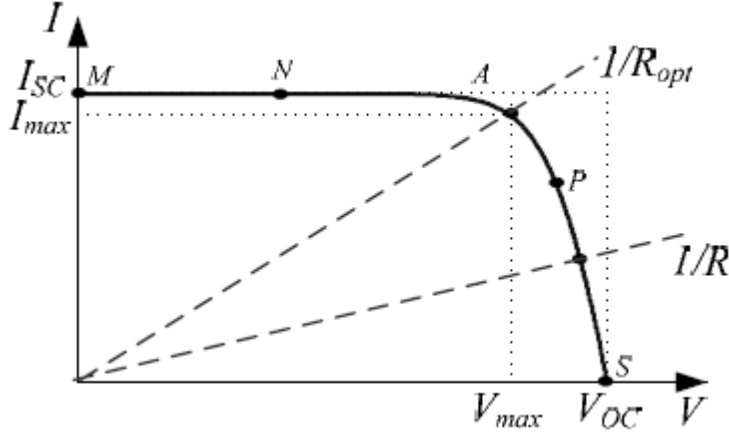


Şekil 2.4. Güneş pilinin değişen koşullara göre V-P karakteristiği

2.4. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI)

MGNI, güneş enerjili sistemlerde güneş pillerinin anlık olarak üretebildiği güçten maksimum derecede istifade edebilmek üzere maksimum güç noktasının belirlenmesi ve buna göre güç dönüştürücüyü kontrol ederek uygun yük değerinin tayin edilmesi işlemlerini kapsar.

Şekil 2.5'de maksimum güç noktasının yüke bağlı olarak nasıl değiştiği gösterilmektedir [4].

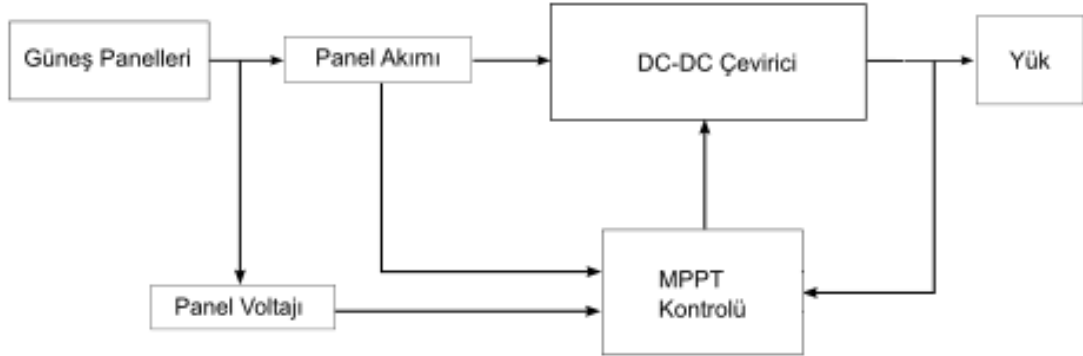


Şekil 2.5. Güneş pili gerilim-akım karakteristiği

Şekil incelendiğinde, saf direnç yükü için, yük karakteristiğinin $I/V = 1/R$ eğrileri olduğu görülür. Eğrilere bakıldığında dağıtılan gücün sadece yük direncine göre değiştiği görülür. Buradan bakıldığında maksimum güç noktasının yükün değişimi ile belirlenmesi gerektiği açıkça görülmektedir [4].

2.5. MGNİ Uygulama Yöntemleri

Maksimum güç noktasının izlenmesi için yükün değiştirilmesi işlemi, DA-DA dönüştürücü yapılar ile sağlanmaktadır. DA-DA dönüştürücülerde doluluk oranı (duty cycle) değişimi ile çıkıştaki yüklenme miktarı değiştirilebilmektedir. Doluluk oranının değişimi sonucunda, güneş pilinin gerilim-akım değerleri ölçülerek güneş pilinin çalışma güç noktası tayin edilir. Bu ve benzeri işlemler belirli yöntemler dâhilinde tekrar edilerek maksimum güç noktası tayin edilmektedir. Şekil 2.6'da örnek bir MGNİ sisteminin blok şeması en basit haliyle verilmiştir.



Şekil 2.6. MGNİ blok şeması

Şemada görülmekte olan DA-DA dönüştürücü için genellikle düşüren (buck), yükselten (boost) veya düşüren ve yükselten (buck-boost) tipi DA-DA dönüştürücü yapıları tercih edilmektedir. Düşüren tip dönüştürücü kullanılan yapıda, güneş pilinin çıkış gerilimi daha düşük bir yük gerilimi ile uyumlandırılır. Örneğin, nominal çıkışı 17 Volt olan bir güneş pili buck tipi dönüştürücüye uygulanarak, 12 Voltluk bir bataryanın şarj edilmesi sağlanabilir. Yükselten tip dönüştürücü kullanılan yapıda, güneş pilinin çıkış gerilimi daha yüksek bir yük gerilimi ile uyumlandırılır. Nominal çıkış gerilimi 17 Volt olan bir güneş pili yükselten dönüştürücü üzerinden 24 Voltluk bir bataryayı şarj edilebilir. Düşüren ve yükselten tip dönüştürücülerde ise her iki tipte çevrim yapılabilmektedir.

Uygulama kısmında yükselten tip dönüştürücü kullanılarak 24 Volt ve 36 Voltluk bataryaların şarj edilebileceği bir MGNİ regülatör sistemi tasarlanacaktır. Yükselten tipi dönüştürücülerle ilgili teorik ve pratik anlamda detaylı açıklamalar ileriki bölümlerde verilmektedir.

2.6. MGNİ Algoritmaları

Maksimum güç noktası izlenmesi için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en yaygın olanı değiştir ve gözlemlerle (perturb and observation) algoritmasıdır [6-9]. Deneme ve hatayı görme yöntemine dayalı olan bu yöntem kolay uygulanabilir olmasına karşın bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlardan birincisi,

güneş ışınlarındaki hızlı değişimler yakalanamadığı için karar verici sistemin yanılabilmesi ve bu yüzden enerjiden tam olarak istifade edilememesidir. Diğer dezavantajı ise, maksimum güç noktasında sürekli olarak ileri geri hareket edildiği için, güneş ışınları kararlı ve sabit olsa bile güç çıkışının sürekli olarak salınımlı olmasıdır. Bu durum regülatöre bağlanan evirici çıkışlarında da küçük dalgalanmalara sebep olur. Değiştir ve gözlemler yöntemi uygulama kısmında daha detaylı olarak ele alınmıştır.

Artımlı iletkenlik (incremental conductance) algoritması [6-8,10] maksimum güç noktasında çıkış gücünün gerilime göre türevinin (dP/dV) sıfıra yaklaşmasının kullanıldığı bir yöntemdir. Bu yöntemin en büyük avantajı hızlı tepki vermesidir. Ancak bu yöntemde düşük güneşlenme koşullarında türev işlemleri zor olabilir ve elde edilen sonuçlar tatmin edici olmayabilir.

Bulanık mantık (fuzzy logic) ve yapay sinir ağları yöntemlerinde [6,8,11,12] değişken güneşlendirme ve sıcaklık koşullarındaki süresiz durumlara uyum sağlayan algoritmalar geliştirilmektedir. Bulanık mantık yönteminde belirgin matematiksel modellemelerin aksine kesin olmayan girişlere dayanan süresiz sistem modellemesi vardır. Bu yönüyle çok değişken olan atmosferik koşullar için avantajlı bir yöntemdir. Yapay sinir ağlarındaki yöntemde ise maksimum güç noktası ile açık devre gerilimi veya güneşlendirme miktarı ile sıcaklık gibi değerler arasındaki ilişkiler öğrenilerek maksimum güç noktası izlemesi yapılır. Bunlar karmaşık algoritmaların kullanıldığı yüksek maliyetli yöntemlerdir.

Geliştirilmiş değiştir ve gözlemler (modified perturb and observation) yöntemi [8] ile değiştir ve gözlemler yönteminin ani değişimlere karşı verdiği kararsız tepkilerin dekuple edilerek yok edilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemde arka arkaya devam eden iki mod bulunur. Birinci mod ile güç değişiminin atmosfer şartlarına göre değişimini izlemek için çıkış sabit tutulur (önceki değerde korunur). İkinci modda ise güç değişimi değerlendirilerek bir sonraki pozisyon için tahminde bulunularak çıkış güncellenir.

Önerilen tahmin-değiştir-değiştir (proposed estimate-pertub-pertub) [8] yöntemi ile geliştirilmiş değiştir ve gözlemler yöntemi de geliştirilmiş olup, bir defa tahmin iki defa değiştirme olmak üzere üç mod üzerinden uygulanmaktadır. Geliştirilmiş değiştir ve gözlemler ya göre hızlandırılmış bir yöntemdir.

Maksimum güç noktasındaki gerilim açık devre panel geriliminin yaklaşık olarak belli bir katsayı ile çarpımına eşittir. Bu katsayı genel olarak 0,75-0,76 dolayındadır. Açık devre gerilimi yönteminde [6-8] DA-DA dönüştürücü periyodik olarak kapatılarak açık devre gerilimi okunur. Bundan sonra hesaplanan maksimum gerilimi elde etmek için kapalı döngü kontrol uygulaması yapılır. Açık devre geriliminin okunması sırasındaki güç kayıplarını önlemek için panellerin karakteristiğini yansıtacak şekilde yerleştirilmiş pilot hücreler kullanılabilir. Bu yöntemin dezavantajlı tarafı, ön tanımlı eğrilerin, güneş ışınlarındaki süreksizlikleri ve değişen hava koşullarını her zaman tam olarak yansıtamamasıdır.

Maksimum güç noktasındaki akım, kısa devre panel akımının yaklaşık olarak belli bir sabit katsayı ile çarpımına eşittir. Bu sabit genellikle 0,78-0,92 aralığında bulunmaktadır. Kısa devre akımı yönteminde [6,8] fazlardan bir kısa devre anahtarı ve buna seri bağlı akım algılayıcısına ihtiyaç vardır. Kısa devre anahtarının belirli aralıklarla kapalı hale getirilmesi ile okunan akım değerinin belirlenen katsayı ile çarpımı sonucunda maksimum nokta tespit edilmektedir. Yükselten dönüştürücü ile bu yöntemin uygulaması yapılabilmektedir. Bu yöntemde katsayıyı düzgün olarak yakalamak pek kolay olmadığı için genellikle DSP tabanlı kontrol işlemcileri kullanılmaktadır.

Bir diğer MGNİ algoritması da üç noktalı ağırlıklı karşılaştırma (three weight comparison) [12] yöntemidir. Değiştir ve gözlemler (P&O) yönteminde arka arkaya iki defa okunan değerlerin karşılaştırılması yapılırken, üç noktalı ağırlıklı karşılaştırma yönteminde üç farklı noktadan okunan değerlerin karşılaştırılması yapılarak karar mekanizması çalıştırılır. Değiştir ve gözlemler yönteminde maksimum güç noktasındaki salınımlar gerçekleşmekte ve bunun sonucunda güç kayıpları

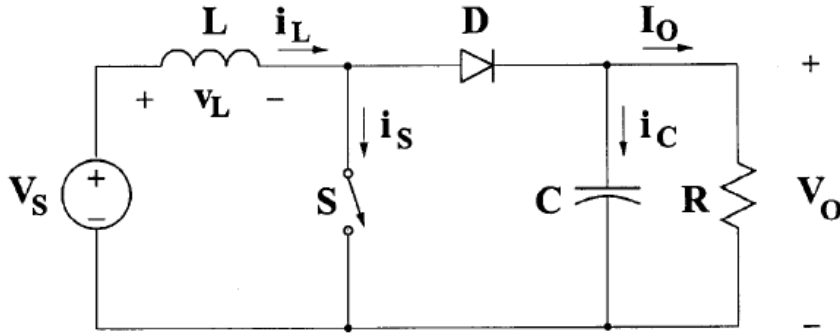
olmaktadır. Bu yöntemde ise maksimum güç noktasındaki ani değişimlerin önüne geçilmektedir. Bu yöntem uygulama kısmında daha detaylı olarak açıklanmıştır.

3. YÜKSELTEN (BOOST) DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ

MGNİ regülatör sisteminde, güneş pillerinden maksimum gücün çekilebilmesi için harcanan gücün kontrol altında olması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için güneş pillerinden elde edilen gerilimin kontrollü bir güç dönüştürücü ile iletimi yapılmalıdır. Uygulamada bu işlemler için yükselten tip DA-DA dönüştürücü kullanılacaktır.

3.1. Yükselten Dönüştürücünün Yapısı

Yükselten tip güç dönüştürücülerde, uygulanan giriş geriliminin yükseltilmesi sağlanır. Yükseltme oranı anahtarlama elemanına uygulanacak doluluk oranı (duty cycle) ile değiştirilir. Şekil 3.1'de yükselten dönüştürücüsünün devre yapısı verilmiştir [14].

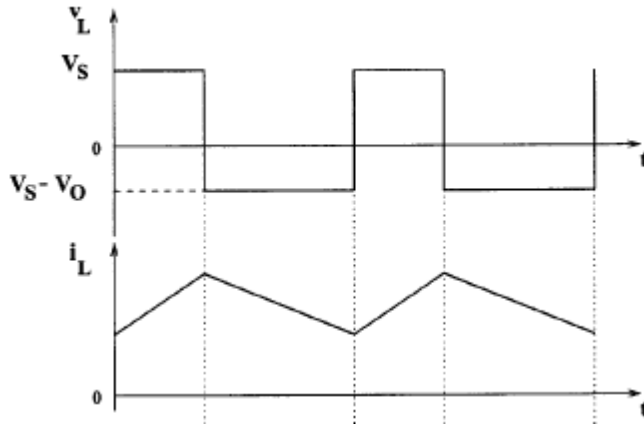


Şekil 3.1. Yükselten dönüştürücü devre şeması

Devrede anahtar kapalı konumda olduğunda endüktör şarj edilirken, akımı doğrusal olarak artacak ve bu sırada diyot kapalı konumda olduğu için devre kapasitörden beslenecektir. Anahtar açık konuma alındığında endüktör akımı aniden değişmeyeceği için endüktör üzerindeki gerilimin yönü ters dönecektir. Bu durumda endüktör üzerinde depolanan enerji, diyot üzerinden kapasitörü şarj edecek ve çıkış yüküne güç aktaracaktır. Endüktör üzerindeki gerilimin ters kutuplanması ile çıkış gerilimi, giriş geriliminin üzerinde bir değerde olmaktadır [14].

3.2. Yükselten (Boost) Dönüştürücünün Analizi

Endüktör gerilim ve akımının, anahtarın kapalı ve açık olduğu konumlardaki dalga biçimleri Şekil 3.2' de verilmiştir [14];



Şekil 3.2. Endüktör üzerindeki gerilim ve akımın dalga biçimleri

Anahtar kapalı konumda olduğunda endüktör gerilimi, artan akımın türevine bağlı olarak çıkış gerilimi ile aynı yönde ve sabit olacaktır. Bu durum için endüktör gerilimi Eş. 3.1'deki gibi ifade edilir;

$$V_L \Rightarrow V_S = L \frac{di}{dt} = L \frac{\Delta i}{T_{ON}} \quad (3.1)$$

Anahtar açık konuma getirildiğinde endüktör akımı doğrusal olarak azalacak ve bundan dolayı endüktör gerilimi da önceki durumuna göre ters kutuplanacaktır. Bu durumda endüktör gerilimi Eş. 3.2 deki gibi ifade edilir;

$$V_L \Rightarrow V_S - V_O = L \frac{di}{dt} = L \frac{-\Delta i}{T_{OFF}} \quad (3.2)$$

Endüktör üzerindeki akım değişimi bu formüllerden çekilirse Eş. 3.3 deki gibi ifade edilir.

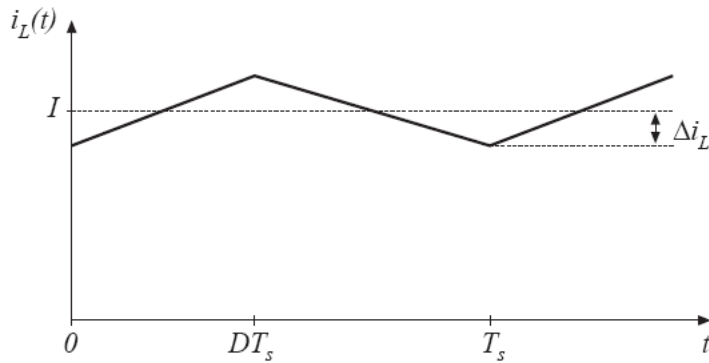
$$\Delta i = \frac{V_S T_{ON}}{L} = \frac{(V_S - V_O) T_{OFF}}{L} \quad (3.3)$$

Eş. 3.3'den görüldüğü gibi akım değişimi, endüktörün değerine ve $T_{ON} - T_{OFF}$ sürelerine bağlı olarak değişmektedir.

Yukarıdaki örnekte endüktör akımının daima sıfırın üzerinde olacağı kabul edilmiştir. Yani anahtar kapalı iken endüktör üzerinde depolanan enerji, anahtar açıldığında tamamen harcanmadan tekrar anahtar kapalı duruma gelmektedir. Bu koşullardaki çalışmaya sürekli iletim modu denmektedir. Eğer endüktör üzerindeki enerji T_{OFF} süresi dolmadan tamamen harcanıyorsa sistem kesikli iletim modunda çalışıyor demektir. Kesikli iletim modunda çıkış geriliminin giriş gerilimine göre ifadesi sürekli iletim moduna göre daha farklı olmaktadır. Aşağıda her iki mod için devre analizi yapılmış olup çıkış gerilimlerine ait eşitlikler elde edilmiştir.

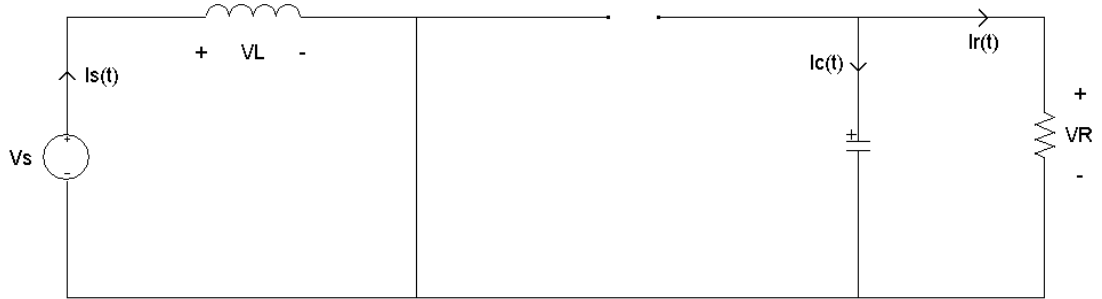
3.1.1. Sürekli iletim modu

Endüktör üzerinden geçen akımın DA bileşeninin dalgacık akımından yüksek olduğu zamanlarda akım tüm periyot boyunca sıfırın üzerinde olur.



Şekil 3.3. Sürekli iletim modu grafiği

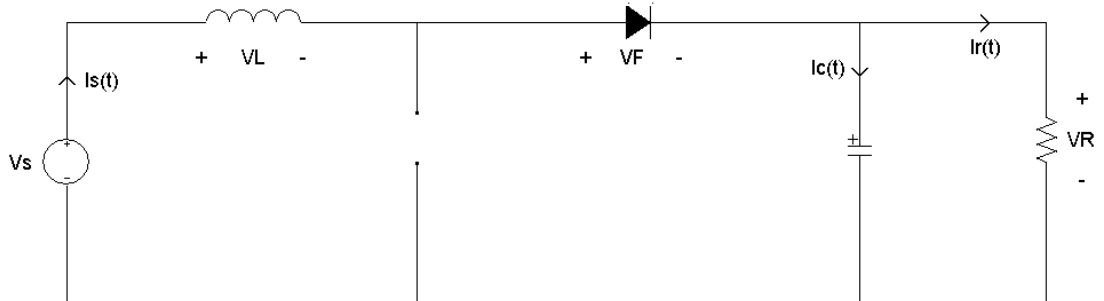
Transistör AÇIK (ON) konumda iken eşitlikler [15]:



Şekil 3.4. Transistörün açık konumu

$$V_S = V_L \quad I_C = \frac{-V_R}{R} \quad (3.4)$$

Transistör KAPALI (OFF) konumda iken eşitlikler [15]:



Şekil 3.5. Transistörün kapalı konumu

$$V_L = V_S - V_F - V_R \quad I_C = I_S - \frac{V_R}{R} \quad (3.5)$$

Çıkış Geriliminin Bulunması [15]:

$$\int_0^{T_S} V_L dt = V_S D T_S + (V_S - V_F - V_R)(1 - D) T_S = 0 \quad (3.6)$$

$$V_S D + V_S - V_S D - V_F(1 - D) = V_R(1 - D) \quad (3.7)$$

$$V_R = \frac{V_S}{(1-D)} - V_F \quad (3.8)$$

Endüktör Akımının DA Bileşeninin Bulunması [15]:

$$\int_0^{T_S} I_C \cdot dt = \frac{-V_R}{R} DT_S + (I_S - \frac{V_R}{R})(1-D)T_S = 0 \quad (3.9)$$

$$I_S = \frac{V_R}{(1-D)R} = \frac{I_R}{(1-D)} \quad (3.10)$$

Endüktör Akımındaki Dalgalanmanın Bulunması [15]:

$$S = AÇIK \rightarrow V_L = L \frac{dI}{dt} \rightarrow m = \frac{dI}{dt} = \frac{V_L}{L} \quad (3.11)$$

$$2\Delta I_L = \frac{V_S}{L} DT_S \rightarrow \Delta I_L = \frac{V_S}{2L} DT_S \quad (3.12)$$

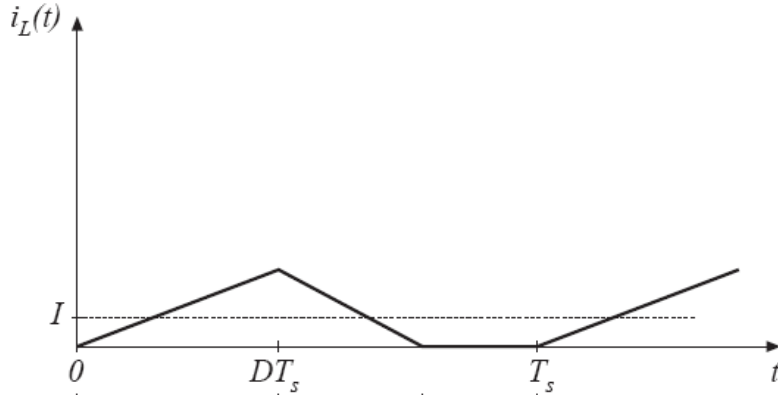
Çıkış Gerilimindeki Dalgalanmanın Bulunması [15]:

$$S = AÇIK \rightarrow I_C = C \frac{dV_C}{dt} \rightarrow m = \frac{dV_C}{dt} = \frac{I_C}{C} = \frac{-V}{RC} \quad (3.13)$$

$$-2\Delta V = \frac{-V}{RC} DT_S \rightarrow \Delta V = \frac{V}{2RC} DT_S \quad (3.14)$$

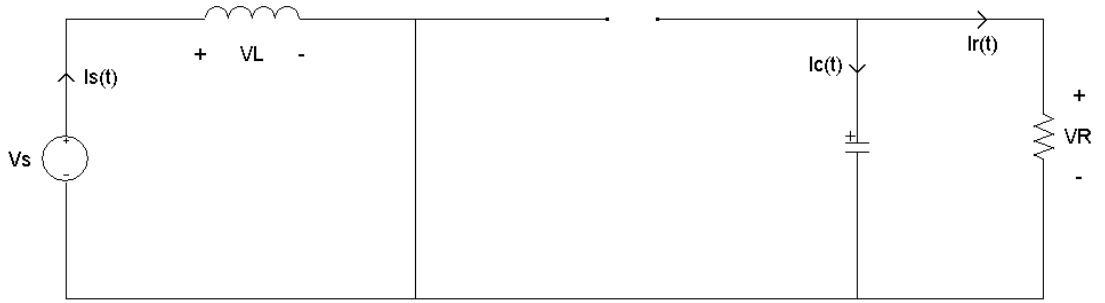
3.1.2. Kesikli iletim modu

Endüktör üzerinden geçen akımın DA bileşeninin dalgacık akımından düşük olduğu zamanlarda, endüktör akımı tüm periyot boyunca sürekli değildir.



Şekil 3.6. Kesikli iletim modu

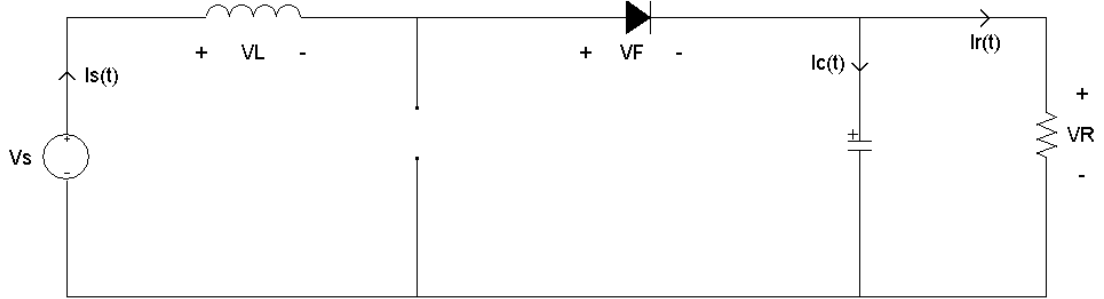
Transistör AÇIK (ON) konumda iken eşitlikler [15]:



Şekil 3.7. Transistörün açık konumu

$$V_S = V_L \quad I_C = \frac{-V_R}{R} \quad (3.15)$$

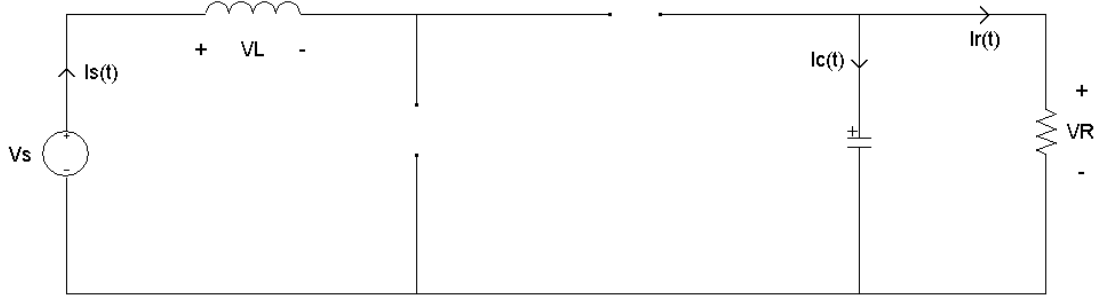
Transistör KAPALI (OFF) konumda iken eşitlikler [15]:



Şekil 3.8. Transistörün kapalı konumu

$$V_L = V_S - V_F - V_R \quad I_C = I_S - \frac{V_R}{R} \quad (3.16)$$

Endüktör akımının sıfırlandığı an için eşitlikler [15]:



Şekil 3.9. Endüktör akımının sıfır hali

$$V_L = 0 \quad I_S = 0 \quad I_C = -\frac{V_R}{R} \quad (3.17)$$

Çıkış Geriliminin Bulunması [15]:

$$\int_0^{T_S} V_L dt = V_S D_1 T_S + (V_S - V_F - V_R) D_2 T_S + 0 \cdot D_3 T_S = 0 \quad (3.18)$$

$$V_S D_1 + (V_S - V_F - V_R) D_2 = 0 \quad (3.19)$$

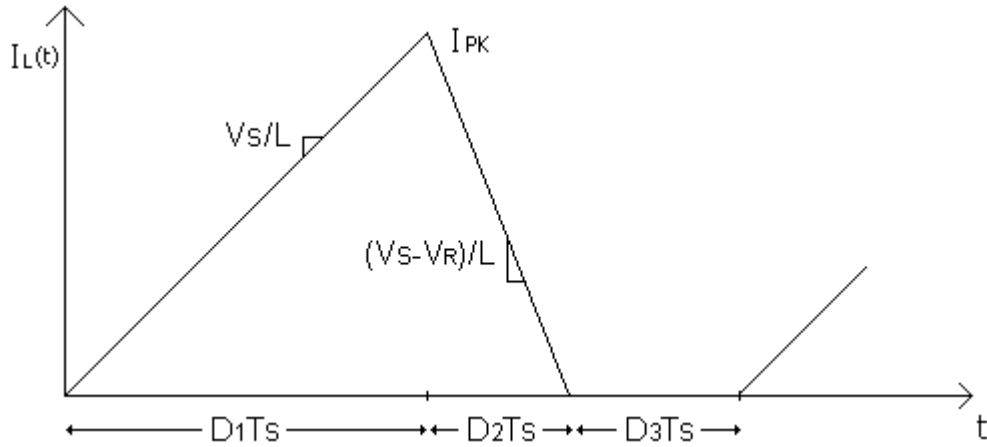
$$V_R = \frac{(D_1 + D_2)}{D_2} V_S - V_F \quad (3.20)$$

Endüktör Akımının DA Bileşeninin Bulunması [15]:

$$I_D = I_C + \frac{V_R}{R} \quad (3.21)$$

Çıkış akımının kararlı olduğu noktada kapasitör akımı sıfıra eşit olacağından diyot akımı çıkış akımının DA bileşenine eşit olur;

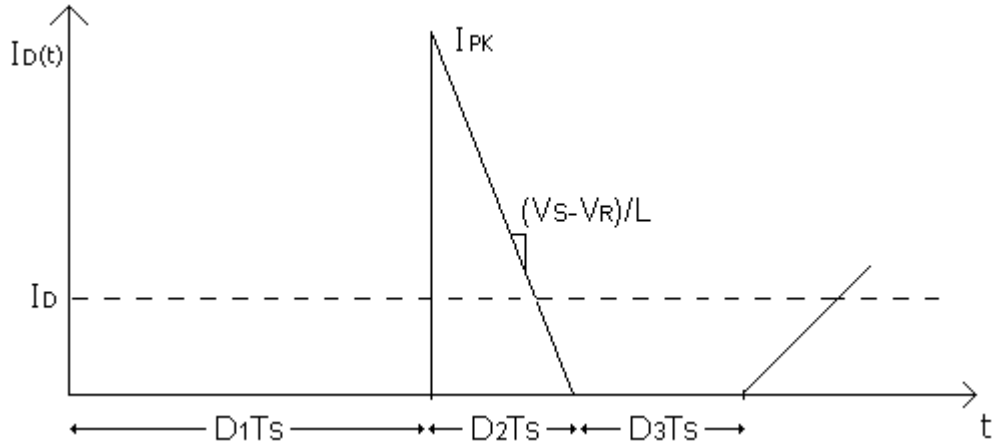
$$I_D = \frac{V_R}{R} \quad (3.22)$$



Şekil 3.10. Endüktör akımı

Endüktör akımı $D_1 T_S$ süresinde sıfırdan başlayarak I_{PK} değerine kadar ulaşır. I_{PK} değeri eğrinin eğimi ile süre çarpılarak bulunur.

$$I_{PK} = \frac{V_S}{L} D_1 T_S \quad (3.23)$$



Şekil 3.11. Diyot akımı

Birinci ve üçüncü bölgelerde diyot akımı ters gerilimden dolayı sıfırdır. İkinci bölgede ise diyot akımı endüktör akımı ile aynıdır. Diyot akımının DA bileşeni integral yöntemi ile hesaplanır;

$$I_D = \frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} I_D(t) dt = \frac{1}{T_S} \left(\frac{1}{2} I_{PK} D_2 T_S \right) = \frac{V_S D_1 T_S D_2}{2L} \quad (3.24)$$

$$\frac{V_R}{R} = \frac{V_S D_1 T_S D_2}{2L} \quad (3.25)$$

D2 değerini D1 cinsinden ifade etmek için Eş. 3.20 de daha önce elde edilen eşitlik kullanılır. Diyot üzerindeki Vf gerilimi sıfır kabul edildiğinde D2 değeri şöyledir;

$$D_2 = D_1 \frac{V_S}{V_R - V_S} \quad (3.26)$$

D2 değeri Eş. 3.25 te yerine koyularak aşağıdaki gibi kökler elde edilir.

$$\frac{V_R}{V_S} = \frac{1 \pm \sqrt{1 + \frac{4D_1^2}{K}}}{2} \quad K = \frac{2L}{RT_S} \quad (3.27)$$

Eş. 3.27 deki ifadenin negatif çıkma ihtimali olmadığı için pozitif kök doğru sonuç olarak kabul edilir. Bu durumda sürekli ve kesikli iletim modaları için çıkış ifadeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Sürekli İletim Modu [15]:

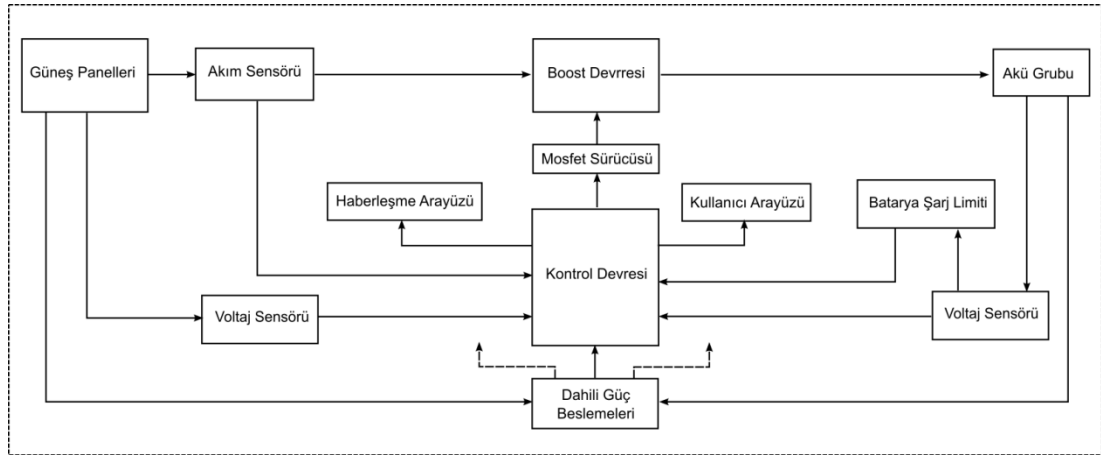
$$V_R = V_S \frac{1}{(1-D)} \quad (3.28)$$

Kesikli İletim Modu [15]:

$$V_R = V_S \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4D_1^2}{K}}}{2} \quad K = \frac{2L}{RT_S} \quad (3.29)$$

4. DONANIMSAL TASARIM

Bir güneş panelinin nominal çıkış gerilimi 17 Volt civarındadır. Bilindiği üzere bu gerilim çevresel şartlara göre artma ve azalma yönünde değişimler gösterebilmektedir. Örneğin bulutlu veya yağmurlu bir havada çıkış 8-10 Volt seviyelerine kadar düşebilmektedir. MGNI regülatör sistemi, çevresel şartların değişkenliği ile maksimum uyum içinde olmalıdır. Bunun için sistemde yükselten dönüştürücü yapısı kullanarak, panel çıkış geriliminin yükseltilerek kullanılması sağlanmıştır. Bu sayede, çevresel şartlardan dolayı gerilim düşümü olsa bile, panel gerilimi belli bir seviyeye kadar yükseltilerek kullanıma uygun hale getirilebilecektir. Şekil 4.1’de tasarlanan MGNI regülatör sistemine ait donanımsal blok şema basit şekliyle verilmiştir;



Şekil 4.1. Donanımsal blok şema

Sistemin girişine güneş panelleri bağlanmıştır. Panel geriliminin akım ve gerilim değerleri girişteki algılayıcılar (sensörler) ile takip edilir. Panel gerilimi, yükselten dönüştürücü ile yükseltilerek çıkıştaki akü grubunun şarjını sağlar. Çıkış gerilimi algılayıcı ile takip edilerek akü grubunun şarj durumu kontrol altında tutulur. Sistemin dahili beslemeleri panel ve/veya çıkış akü geriliminden istenilen gerilim seviyelerine regülasyon yapılarak sağlanmaktadır. Sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak üzere gerilim ve akım değerlerini örnekleyen, buna göre mosfetleri süren yazılım, kontrol devresinde yüklüdür. Kontrol devresi aynı

zamanda kullanıcı kontrollerinin sağlanmasını ve ikinci bir cihazla haberleşebilmesini sağlamaktadır. Aşağıda tüm donanım birimleri açıklanmıştır.

4.1. Güneş Panelleri

Sisteme giriş olarak 130 Watt gücünde güneş panelleri paralel veya seri bağlı olarak uygulanmıştır. Paralel bağlantı yapılması durumunda nominal 17 Volt elde edilmekte olup 24 veya 36 voltluk akü grubu şarj edilebilmektedir. İki adet panelin seri bağlantı yapılması durumunda ise nominal 34 Voltluk panel gerilimi elde edilecek ve bu durumda 36 voltluk akü grubu şarj edilebilecektir. Giriş gerilimi güneş ışınlarının şiddetine ve açısına göre değişmektedir. MGNI yazılımı ile güneş panellerinin buldukları koşul içinde en yüksek verimde çalışması sağlanmaktadır. Yani çıkış yükü değiştirilerek, güneş panellerinin en yüksek gücü verebildikleri gerilim-akım seviyesinde çalışmaları sağlanmaktadır. Şekil 4.2’de kullanılan güneş panelleri gösterilmiş ve ilgili panele ait teknik veriler eklerde sunulmuştur.



Şekil 4.2. Güneş panelleri

4.2. Yükselten (Boost) Dönüştürücü Tasarımı

MGNİ regülatör sisteminde kontrollü güç dönüştürücü olarak kullanılacak olan yükselten dönüştürücünün teorik analizi önceki bölümlerde yapılmıştır. Bu bölümde yükselten dönüştürücünün tasarımı anlatılmıştır. Tasarımda öncelikli olarak giriş-çıkış parametreleri belirlenmiş, bu parametrelere göre gerekli hesaplamalar yapılarak kullanılacak olan komponentler belirlenmiştir. Komponentlerin seçiminde tedarik kolaylığı da dikkate alınmıştır.

Sistemin tasarımında birinci konfigürasyon dikkate alınmıştır. Bu konfigürasyonda iki adet güneş paneli paralel bağlı olarak sisteme uygulanmakta olup sistem çıkışında 24 Voltluk akü grubunun şarj edilmesi sağlanacaktır. Buna göre sistemin giriş çıkış parametreleri Çizelge 4.1’de gösterildiği gibi öngörülmüştür.

Çizelge 4.1. Sistemin giriş ve çıkış parametreleri

	Nominal	Minimum	Maksimum
Giriş Gerilimi (V_S)	17 Volt	8 Volt	21 Volt
Giriş Gücü (P_S)	-	-	360 Watt
Giriş Akımı (I_S)	-	-	20 A
Tepeden Tepeye Akım (I_{p-p})	-	-	5A
Doluluk Oranı (D)	-	%5	%65
Anahtarlama Frekansı (F_S)	20 KHz	-	-
Çıkış Gerilimi (V_O)	24 Volt	-	-
Diyot Gerilim Düşümü (V_F)	1V	-	-

Tasarım sürekli iletim moduna göre yapılmıştır. Buna göre çıkış akımı, belirlenen tepe akımının üzerinde olduğu durumlarda, sistem sürekli iletim modunda çalışacaktır.

4.1.1. Endüktör seçimi

Endüktör hesapları için aşağıdaki tasarım adımları takip edilmiştir;

Adım-1: Doluluk Oranının (Duty Cycle) Hesaplanması

Güneş pillerinin maksimum güç noktasındaki gerilimi genellikle 14-15 Volt civarında olmaktadır. Bu yüzden giriş geriliminin 15 Volt, çıkış geriliminin ise 24 Volt olacağı duruma göre doluluk oranı yüzdesi hesaplanır;

$$V_O = \frac{V_S}{(1-D)} - V_F$$

$$D = 1 - \frac{V_S}{V_O + V_F}$$

$$D = 1 - \frac{15}{24+1} = 0,4 = \%40$$

Adım 2 : Endüktör Değerinin Hesaplanması

Akım dalgalanması ve doluluk oranı yüzdesi belirlendikten sonra endüktör değeri hesaplanabilir;

$$V_S = L \frac{di}{dt} = L \frac{\Delta i}{T_{ON}} = L \frac{\Delta i}{D.T}$$

$$L = \frac{V_S D T}{\Delta i} \quad T = \frac{1}{F_S} = \frac{1}{20000} = 50 \times 10^{-6}$$

$$L = \frac{15 \times 0,4 \times 50 \times 10^{-6}}{5} = 75 \mu\text{H}$$

$L=75\mu\text{H}$ olarak seçildiğinde belirlenen koşullarda çıkış akımı, tepe akımının (2,5A) üzerinde ise sistem sürekli iletim modunda çalışacaktır.

Adım 3: Endüktörün Enerji Kapasitesi

Endüktörün enerji miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır;

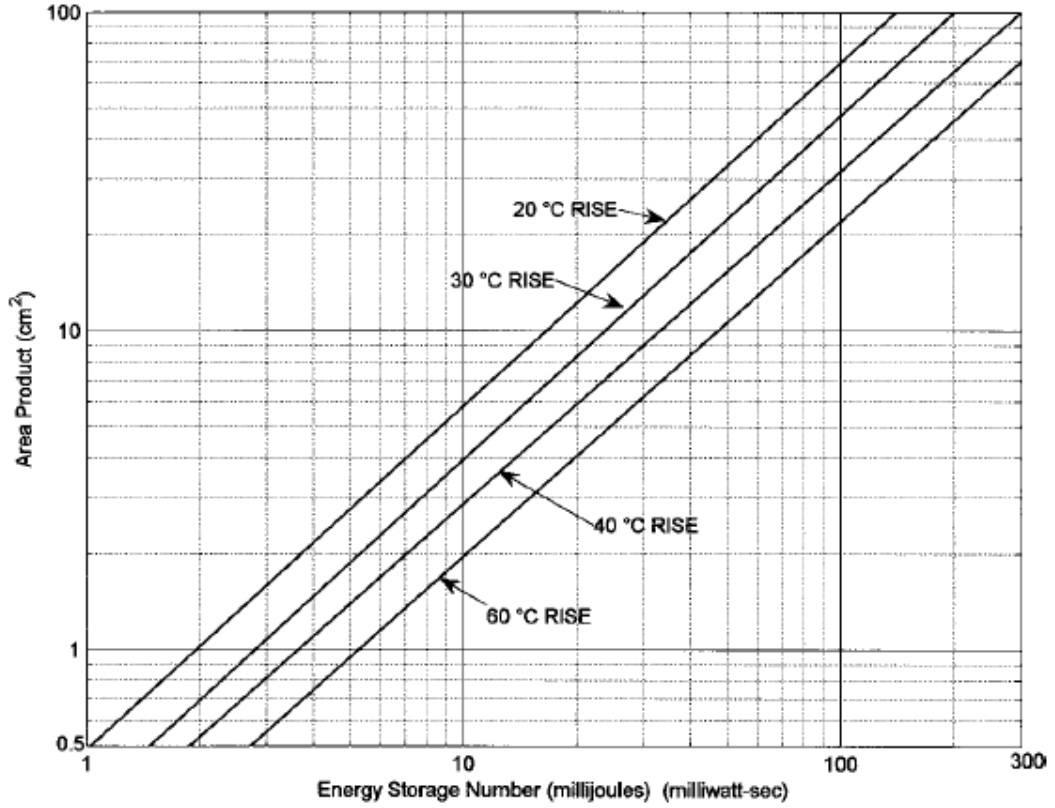
$$W = \frac{1}{2} \times L \times I^2 = \frac{1}{2} \times 75 \times 10^{-6} \times 20^2 = 15 \text{ mili joule}$$

Adım 4: Alan çarpanı (Area Product - AP) değerinin belirlenerek nüve seçiminin yapılması

Alan çarpanı, Colonel Wm. T. McLyman tarafından geliştirilen bir yöntem olup nüvelere ait birçok özelliği gösteren güçlü bir tasarım aracıdır. AP basitçe nüvenin etkin alanı (A_e) ile mümkün olan sargı alanına ait dikdörtgenel alanın (A_w) çarpımına eşittir. A_e ve A_w santimetre kare cinsinden olursa AP değeride santimetre üzeri dört birimi ile bulunur. AP değeri nüvenin güç hesaplarında iyi bir referans değeri olmakla birlikte optimal nüve boyutunu belirlemek için de kullanılabilir. Bunların yanında ısınma miktarı, sarım sayısı gibi diğer parametreler konusunda da tahmini değerlerin oluşmasını sağlamaktadır. AP değeri artık birçok üretici tarafından veriliyor ancak verilmiyorsa bile nüvenin ölçülerinden hesaplanabilmektedir [16];

- A_w = sargıların geçtiği bölümün pencere alanı (cm^2) (E tipi nüvelerde yalnızca bir pencere alınır.)
- A_e = nüvenin efektif alanı (E tipi nüvelerde ortanca kısmın kesit alanı) (cm^2)
- AP = alan çarpımı (area product) (cm^4) = $A_w \cdot A_e$

Şekil 4.3’de standart E tipi nüveler için endüktörün enerji miktarına göre uygun AP değeri, farklı sıcaklık artışlarına göre verilmektedir.



Şekil 4.3. Enerji miktarına göre uygun AP değerleri

15 milijoule’de 30 derece sıcaklık değişimine göre AP değeri 6 olarak görülmektedir. Bundan sonra, bu AP değerine yakın değerleri veren bir nüve seçilir. ETD serisi bazı nüvelere ait AP değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [17];

- ETD39 : 2,34 cm⁴
- ETD44 : 4,80 cm⁴
- ETD49 : 7,23 cm⁴
- ETD54 : 11,5 cm⁴

Buradaki değerlere bakılarak ETD49 nüvesi uygun görülmüştür.

Adım 5: Başlangıç sarım sayısının hesaplanması

Başlangıç sarım sayısını seçilen nüveye ait endüktans faktörünü (A_l) aşağıdaki genel formülde yerine koyarak hesaplayacağız. ETD49'un N87 malzeme tipinde $B=200\text{mT}$ da yapılan testlere göre endüktans faktörü (A_l) 3800nH/N^2 olarak görülmektedir. Bu bilgi ile N sarım sayısı hesaplanır;

$$L = N^2 A_l \quad [16] \quad (4.1)$$

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_l}} = \sqrt{\frac{75 \times 10^{-6}}{3800 \times 10^{-9}}} = 4,44 \text{ Sarım (4 seçildi)}$$

Adım 6: Manyetik akı yoğunluğunun hesabı

Nüvenin doyuma girmeden çalışabilmesi için manyetik akı yoğunluğunun belirli bir değeri aşmaması gereklidir. Bu değer ferrit tipi malzemelerde yaklaşık olarak 0,35 Tesla'dır [16]. Bu değer üzerinde nüve doyuma girmeye başlar. Buna göre tasarımın bu ölçütü sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

$$LI = N\Phi \quad [18] \quad (4.2)$$

$$\Phi = BA_e \quad [18] \quad (4.3)$$

Eş. 4.2 ve Eş. 4.3 ten B bulunur;

$$B = \frac{LI}{NA_e} \quad (4.4)$$

$$B = \frac{75 \times 10^{-6} \times 20}{4,211 \times 10^{-6}} = 1,77 \text{ T}$$

Manyetik akı yoğunluğu istenilen seviyenin üzerinde çıkmıştır. Bu durumda hava aralığı açılarak manyetik akı yoğunluğunun düşürülmesi sağlanacaktır.

Adım 7: Hava aralığının Hesaplanması

ETD49 nüvesinin teknik verilerinde örnek hava aralığı için endüktans faktörü değerleri verilmiştir. Nüvenin kataloğunda 2mm hava aralığı için endüktans faktörü (A_l) $188nH/N^2$ olarak görülmektedir. Buna göre hesaplamalar tekrarlanırsa;

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_l}} = \sqrt{\frac{75 \times 10^{-6}}{188 \times 10^{-9}}} = 19,97 = 20 \text{ Sarım}$$

$$B = \frac{75 \times 10^{-6} \times 20}{20 \times 211 \times 10^{-6}} = 0,35 \text{ T}$$

Buna göre 2mm hava aralığı ve 20 tur sarım sayısı ile kabul edilebilir bir maksimum manyetik akı yoğunluğu elde edilmiştir.

4.1.2. Yarıiletken anahtarlama elemanının seçimi

Anahtarlama elemanı olarak mosfet kullanılacaktır. Mosfetin seçimi devrenin en zor koşulları dikkate alınarak yapılır. Öncelikle mosfet üzerinde en yüksek stresi yaratacak olan gerilim ve akım değerleri belirlenir [19].

Mosfet üzerinde oluşabilecek en yüksek gerilim değeri güneş panellerinin çıkış gerilimine eşittir. Güneş panelleri paralel bağlı olması durumunda en yüksek değer 20V civarındayken seri bağlı olması durumunda 40V civarında olmaktadır. Bu durumda mosfetin maksimum drain-source gerilim değeri 40 V üzerinde olmalıdır [19].

$$V_{MAX} = V_{PANEL} = 40V$$

Mosfet üzerindeki en yüksek akım ise endüktörün akım zaman grafiğinden de görülebileceği gibi çıkış akımını ile endüktör tepe (peak) akımının toplamıdır;

$$I_{MAX} = I_{DC} + I_{PEAK} = 20 + 2,5 = 22,5A$$

Mosfet seçimi yapılırken gerilim ve akım kriterlerinin sağlanabilmesinin yanında mosfet üzerinde tüketilecek gücün mümkün olduğunca az olacak koşulların sağlanmasına da dikkat edilmelidir. Mosfet üzerindeki güç kayıpları anahtarlama kayıpları ve iletim kayıpları şeklinde ikiye ayrılır. Anahtarlama kayıpları yükselten dönüştürücü devresinde çok etkili değildir. İletim kayıpları ise mosfetin kapalı (iletimde) olduğu durumda, üzerinde tüketilen güç miktarıdır. Üzerinde tüketilen güç mosfetin iletim sırasında gösterdiği direnç ($R_{DS(ON)}$) ile orantılıdır. Mosfet seçimini yaparken $R_{DS(ON)}$ direncinin düşük olmasına da dikkat edeceğiz.

Laboratuvarımızda bulunan ürünler üzerinde inceleme yaptığımızda IXFM 75 N10 kodlu ürünün ihtiyacı karşılayabilecek bir ürün olduğu görüldü. IXFM 75 N10'un katalog değerleri aşağıdaki gibidir;

- Maksimum Drain-Source Gerilimi : $V_{DSS} = 100$ Volt
- Maksimum Drain Akımı : $I_{D(25)} = 75$ A
- Mosfet İletim Direci : $R_{DS(ON)} = 20$ m Ω

Maksimum akım koşullarında mosfetin iletimde olduğu konumda, mosfet üzerine düşecek olan gerilim şu şekildedir;

$$V_{DS} = I_{MAX} \cdot R_{DS(ON)} = 22,5 * 0,02 = 0,45$$
 V

Tüketilen güç ise;

$$P_{MOSFET_ON} = V_{DS} \cdot I_{MAX} = 0,45$$
 V * 22,5 = 10,125 W

Tüketilen bu güç mosfet üzerinde ısı olarak açığa çıkacağından, mosfetin yeterli bir soğutucu bloğun üzerine monte edilmesi gerekmektedir. Mosfet üzerindeki güç kayıplarını azaltmak için $R_{DS(ON)}$ direnci daha düşük olan bir model seçilebilir.

4.1.3. Diyot seçimi

Diyotun maruz kalacağı maksimum ters gerilim çıkış gerilimine eşittir [19]. Devrenin maksimum çıkış gerilimini 50V olarak kabul edersek, maksimum ters gerilimi 50V'un üzerinde olacak bir diyor seçilmelidir.

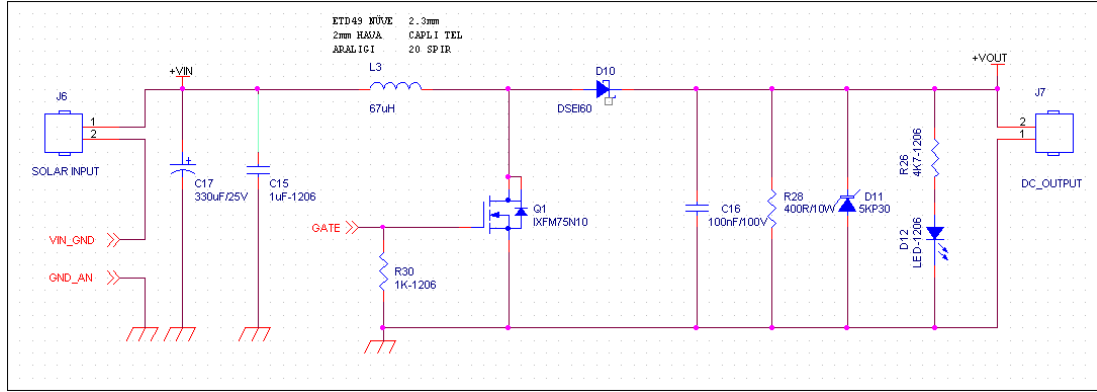
Akım kriteri olarak da maksimum akım alınmalıdır. Maksimum akım daha önce de hesaplandığı gibi; $I_{MAX} = I_{DC} + I_{PEAK} = 20 + 2,5 = 22,5A$ 'dir. Diyotun maksimum ileri yön akımı da 22,5 A'in üzerinde olmalıdır.

Diyot seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer hususlar ise şöyledir; Yükselten dönüştürücü devresindeki bir diyotun hızlı anahtarlama karakteristiğinde olması önemlidir. Bu yüzden ters toparlanma süresi mümkün olduğunca düşük seçilerek anahtarlama kayıpları minimuma indirilir. Bunun yanında diyotun gerilim düşümü düşük seçilerek iletimdeki kayıplar azaltılabilir [19].

Laboratuvardaki mevcut ürünler içerisinde DSEI60-06A modeli proje için uygun olarak görülmüştür. DSEI60-06A'nın ana karakteristikleri aşağıdaki gibidir;

- Maksimum ters gerilim : $V_{RRM} = 600$ Volt
- Maksimum iletim (forward) akımı : $I_{FAV} = 60$ A
- Reverse Recovery süresi : $t_{rr} = 35$ ns

Yükselten dönüştürücü devresi için en kritik olan malzemeler bu şekilde seçildikten sonra devre Şekil 4.4'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur;



Şekil 4.4. Yükselten dönüştürücü devresi

Devrenin çıkışı aküye bağlı olacağı için çıkış kapasitörü hesabı yapılmamış, çıkış tarafında yalnızca yüksek frekansları filitrelemek amacıyla çıkışta 100nF'lık bir kapasitör koyulmuştur. Güneş paneli kablolarının uzun olma ihtimaline karşı giriş tarafına 330µF ve 1µF'lık kapasitörler koyularak gerilim kompanzasyonu sağlanmıştır. Sisteme yük bağlı olmadığı zamanlarda, çıkış gerilimindeki ani yükselişleri önlemek amacıyla 400 Ohm değerinde sürekli yük bağlanmıştır. Ayrıca yük ile uygun değerlerde parazit gerilim bastırıcı (transient voltage suppressor) kullanılabilir.

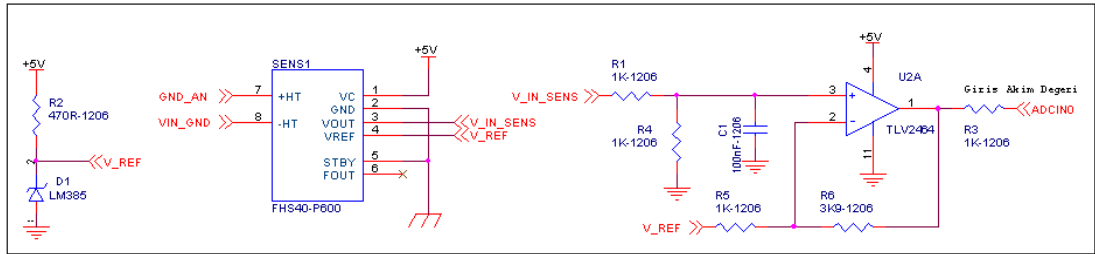
4.3. Kontrol Devresi

Kontrol devresi MGNİ kontrol yazılımının yüklü olduğu bölümdür. MGNİ kontrol yazılımı seçili olan MGNİ algoritmasını algılayıcılardan aldığı bilgiye göre mosfet sürücüsü üzerinden yükselten dönüştürücü devresini kontrol ederek uygular. Kontrol devresi tasarımının başlangıcında, kontrol devresine ait ana gereksinimler aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

- Giriş akımını ve giriş gerilimini okuyarak giriş güç değerinin hesaplanması
- MGNİ kontrol algoritmasını çalıştırarak yükselten dönüştürücü devresinin sürülmesi
- Çıkış gerilimini okuyarak kontrol altında tutmak
- Buton ve LCD kullanıcı arayüzünü sağlamak

4.4. Akım Algılayıcısı (Sensörü)

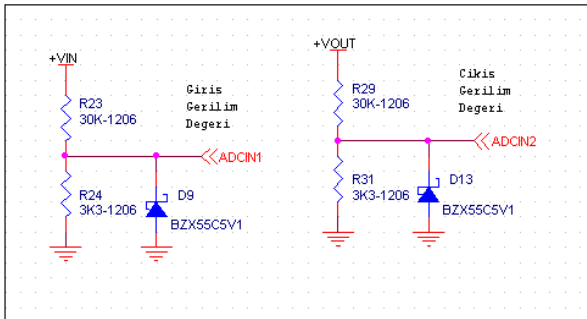
Giriş akımının örneklenebilmesi için sistem girişinde LEM markalı hall etkili algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcının katalog değerlerine bakıldığında, uygulamamız üzerindeki akım okuma hassasiyeti 40mV/A olarak görülmektedir. Akımın daha hassas okunabilmesi için kazancı yaklaşık 5 olan opamp devresi tasarlanmıştır. Bu durumda akım okuma hassasiyeti yaklaşık olarak 200mV/A olmuştur. Şekil 4.6'da devreye ait şematik çizim gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Akım algılayıcı devresi

4.5. Gerilim Algılayıcısı (Sensörü)

Sistemin giriş ve çıkış tarafında gerilim bölücü algılayıcılar ile giriş ve çıkış gerilimlerinin örneklenmesi sağlanır. Şekil 4.7'de devreye ait şematik çizim gösterilmiştir.

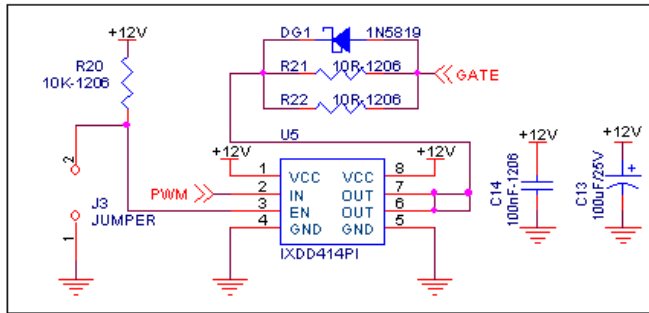


Şekil 4.7. Gerilim algılayıcı devresi

Devrede gerilim bölücüler ile giriş ve çıkış gerilimlerinin yaklaşık 1/10 oranında düşürülerek kontrol devresine iletilmesi sağlanmıştır. Bu sayede 50V'a kadar olan değerler kontrol devresi tarafından okunabilecektir. 50 Volt sistemin giriş ve çıkış tarafı için yeterli bir büyüklüktür. Ancak 50 Voltun aşılması gibi olağan dışı hallerde, mikrodenetleyici tarafını korumak amacıyla zener diyotlar kullanılmıştır.

4.6. Mosfet Sürücüsü

Mosfet sürücüsü kontrol devresi tarafından yükselten dönüştürücü devresinin istenilen doluluk oranı ile sürülmesini sağlamaktadır. Sürücü olarak IXDD414PI entegresi kullanılmıştır. Sürücü devresinin şematik çizimi Şekil 4.8'de verilmiştir;



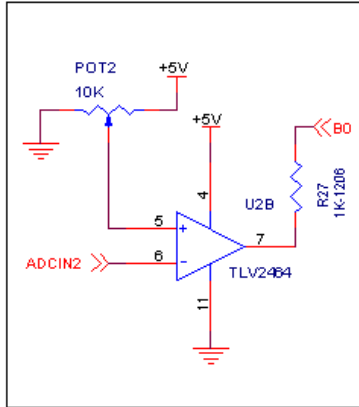
Şekil 4.8. Mosfet sürücüsü

Yükselten dönüştürücü devresinin PWM anahtarlama frekansı 20 kHz'dir. Sürücü entegresinin çıkışı 14 Amper tepe değerine ulaşabilmekte olup, 15nF kapasitansa sahip kapı ucunu 30ns'den daha kısa zamanda sürebilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca anahtarlama süresini hızlandırmak için kapıya ters schottky diyot koyulmuştur. Yükselten dönüştürücü sürücüsünü manual olarak kapalı konuma getirebilmek için devre üzerindeki jumper kullanılmaktadır.

4.7. Batarya Şarj Limiti

Bilindiği üzere MGNİ regülatör sisteminin uygulamasında güneş panellerinden elde edilen enerji ile aküler şarj edilmektedir. Akülerin gereğinden fazla şarj edilmesi

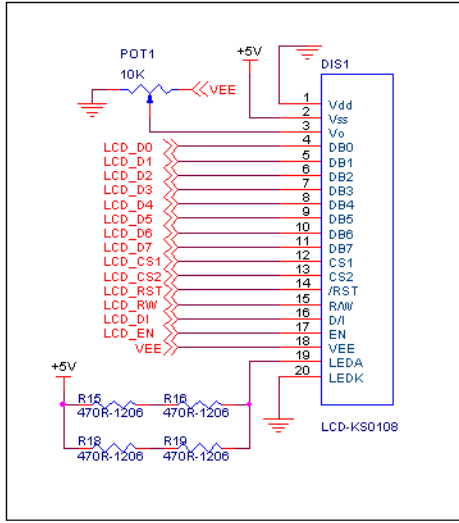
riskini önlemek amacıyla şarj limiti devresi tasarlanmıştır. Devrede kullanılan opamp karşılaştırıcı olarak kullanılmış olup çıkış gerilimindeki yükselmeleri anında algılayarak mikrodenetleyiciyi harici interrupt girişinden uyarılmaktadır. Devreye ait şematik çizim Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Batarya şarj limiti

4.8. LCD Arayüzü

Sistemin çalışması sırasında anlık gerilim, akım ve doluluk oranı değerlerinin izlenebilmesi, farklı algoritmaların seçilmesi gibi kullanıcı kontrollerinin yapılabilmesi amacıyla 128x64 pixel çözünürlüğünde LCD ekran ile kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. LCD'nin kontrol işlemleri mikrodenetleyici devresi tarafından paralel arayüz kullanılarak yapılmıştır. Devre üzerinde, LCD'ye ait bağlantı şeması da Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

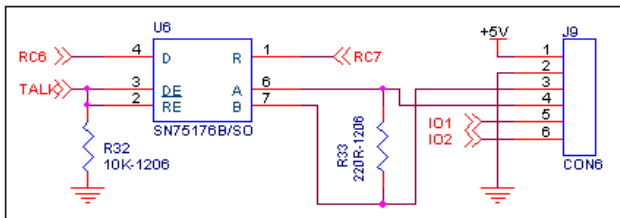


Şekil 4.10. LCD arayüzü

Devrede bulunan 10K trimpot ile LCD'nin contrast ayarı yapılabilmekte ve 470 Ohm dirençler ile arka plan aydınlatması sürülebilmektedir.

4.9. Haberleşme Arayüzü

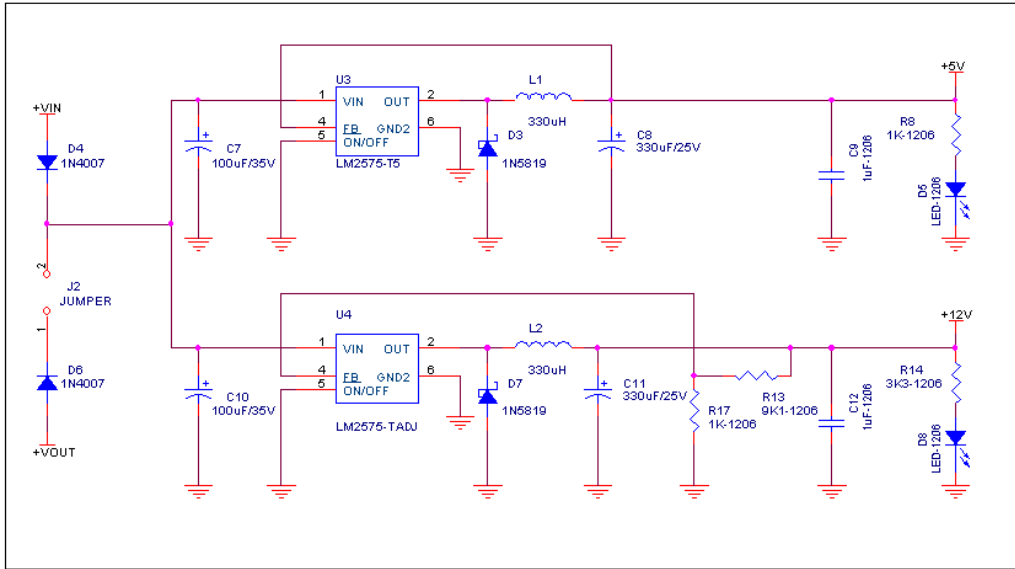
Haberleşme arayüzü sistemin kendi haricindeki cihazlar ile haberleşme yapabilmesi için tasarlanmıştır. Arayüz mikrodenetleyicinin uart arayüzünden gelen bilgileri, RS485 donanımı ile diferansiyel olarak iletebilmektedir. RS485 çevrim işlemi SN75176 kodlu entegre ile yapılmaktadır. Aynı zamanda arayüz üzerinde 2 adet genel amaçlı digital I/O hattı bulunmaktadır. Devrenin şematik çizimi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Haberleşme arayüzü

4.10. Dahili Güç Beslemeleri

MGNİ regülatör sisteminin enerjilendirilmesi dahili güç besleme devresi üzerinden sağlanmaktadır. Sistemin besleme gerilimi aralığı 14-35V DA olup, sistem içerisinde bulunan iki adet anahtarlamalı güç dönüştürücüsü üzerinden 5Volt ve 12Volt elde edilerek gerekli gerilimler sağlanmıştır. Gerilim çıkışlarının açık konumda oldukları led göstergeler ile gösterilmektedir. MGNİ regülatör tarafından üretilen gerilim gerektiğinde jumper ile sisteme geri besleme olarak da verilebilmektedir. Devreye ait şematik çizim Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Dahili güç besleme devresi

5. MGNİ YAZILIM UYGULAMASI

MGNİ yazılımında üç farklı MGNİ algoritması ve manual kullanım programları yer almakta olup, kullanıcının arayüz üzerinden yapacağı seçime göre bunlardan birisi çalıştırılmakta ve arayüz üzerinden doluluk oranı (duty cycle) ve giriş güç değeri gözlenmektedir. Bu programlar arayüz üzerinden harf kodları ile gösterilmiştir. Kullanılan algoritmalar ve ilgili harf kodları aşağıdaki gibidir;

- A : Değiştir ve gözlemler (perturb and observation) yöntemi
- B : Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma (three point weight comparison) yöntemi
- C : Tepe tırmanışı (hill climbing) yöntemi
- M : Elle kontrol

Yukarıda belirtilen algoritmaların daha önce uygulaması yapılmış olup literatüre geçen çalışmalardır. Üç farklı algoritmanın detaylı anlatımları aşağıda yer almaktadır.

Elle kontrol modunun amacı deneysel çalışmaları kolaylaştırmaktır. Elle kontrol modundadoluluk oranı kullanıcı tarafından belirlenerek çıkıştaki durum gözlenebilmektedir.

5.1. Değiştir ve Gözlemler Yöntemi ve Uygulaması

Değiştir ve gözlemler yöntemi [7-10, 20] MGNİ uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Algoritma deneme ve hata görme yöntemini temel alır. Deneme işlemi panel geriliminin artırılması veya azaltılması şeklinde sarsılması yöntemi ile gerçekleşir. Panele bağlı olan yük açık devre iken panel gerilimi en yüksek seviyededir. Şekil 2.2'ye bakarsak panel gerilimi arttıkça akım bir noktaya kadar sabit olup sonrasında sıfıra kadar düşmekte olduğunu görürüz. Bu yüzden panel gerilimini artırmak için akım azaltılacaktır. Akımın azaltılması bizim devremizde doluluk oranının düşürülmesi anlamına gelmektedir. Panel gerilimini

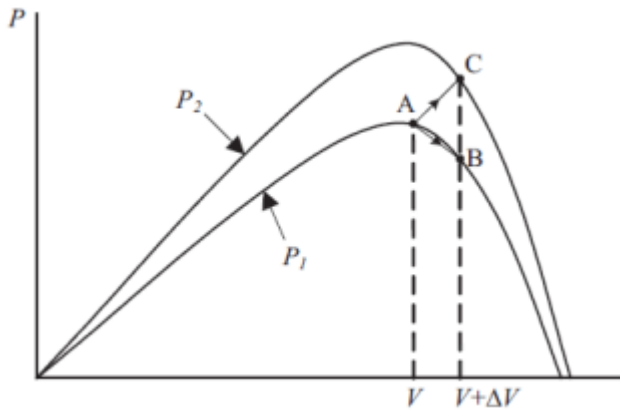
azaltmak için tam ters şekilde akım artırılacaktır. Akımın artırılması ise bizim devremizde doluluk oranının artırılması anlamına gelmektedir.

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi maksimum güç noktasının sol tarafında iken, gerilim artırıldığında(azaltıldığında) güç artmakta(azalmakta), maksimum güç noktasının sağ tarafında ise gerilim artırıldığında(azaltıldığında) güç azalmaktadır(artmaktadır). [6] Deneme işleminin arkasından alınacak sonuçlara göre hangi noktada çalışıldığının tespiti yapılır. Bulunulan nokta, maksimum güç noktasının sol tarafında ise gerilim artırılarak, sağ tarafında ise gerilim azaltılarak aynı döngü maksimum güç noktasına ulaşılan kadar devam ettirilir. Algoritmanın özeti Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Değiştir ve gözlemle algoritmasının özeti

Güç değişimi	Gerilim değişimi	Bir sonraki değiştirme
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

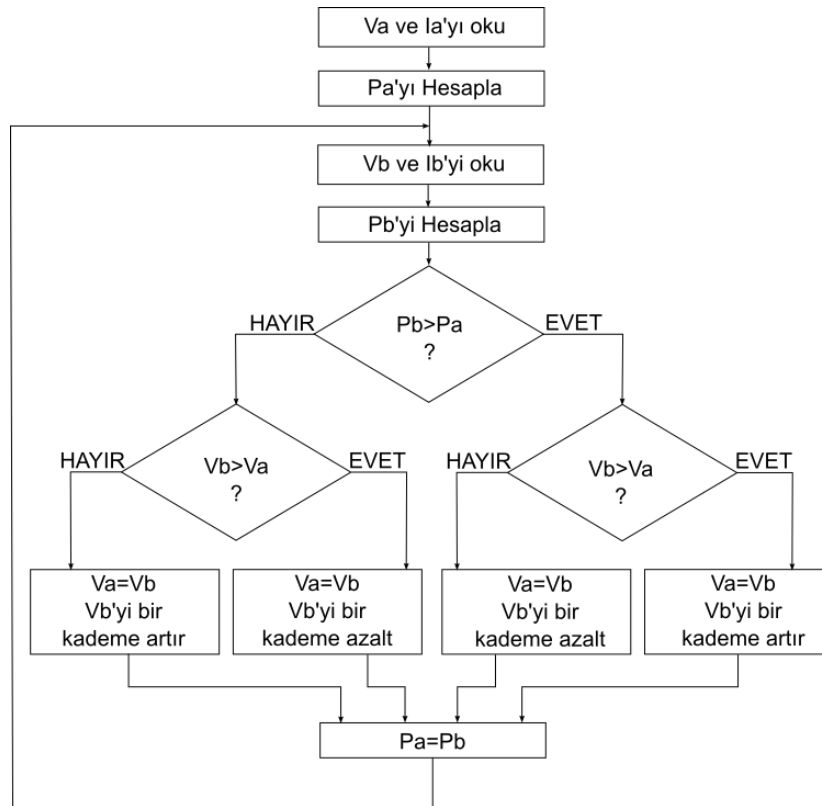
Değiştir ve gözlemle yönteminin yönteminin bir dezavantajı, hızlı değişen atmosferik koşullarda hatalı karar verebilmesidir. Bu durum Şekil 5.1’de gösterilmiştir [21].



Şekil 5.1. Hızlı değişen koşullarda P&O algoritmasının hata durumu

Sabit hava koşullarında A noktasında iken, bir sonraki adımda gerilim artırılarak B noktasına gelindiğinde güçte azalma olduğu algılanacağı için hareket yönü ters çevrilerektir. Ancak A noktasındaki ölçümden hemen sonra hava koşullarında değişim olur ve güç eğrisi P1'den P2'ye geçiş yaparsa bir sonraki ölçümde C noktasındaki değerler okunur. C noktasındaki güç değeri A noktasına göre daha yüksek olduğu için algoritma yanılarak gerilimi artırma yönünde hareket etmeye devam edecektir. Halbuki C noktası maksimum güç noktasına göre sağ tarafta kalan bir noktadır. Referans [22]' de bu konuyla ilgili olarak örnekleme hızı optimize edilmiştir.

Bu algoritmanın uygulaması Şekil 5.2'de verilen referans akış diyagramına uygun olarak yapılmıştır [23].

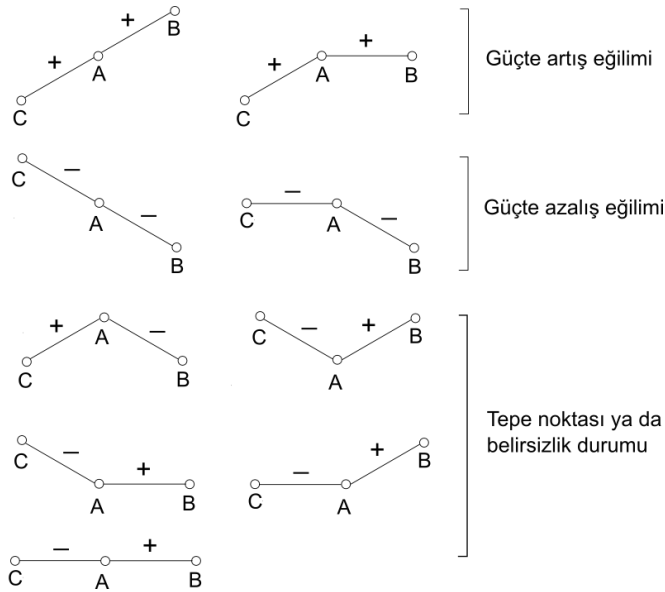


Şekil 5.2. Değiştir ve gözlemler algoritması

Uygulama sonrasında yapılan testler ile gerilim artırma ve azaltma işlemleri için her adımda minimum %2'lik doluluk oranı değişimi gerekli görülmüştür.

5.2. Üç Noktalı Ağırlıklı Karşılaştırma Yöntemi ve Uygulaması

Uygulaması yapılan bu ikinci yöntemde değiştir ve gözlemler yönteminden farklı olarak üç farklı noktada arka arkaya alınan örneklemeler referans alınmaktadır. Bunları A, B ve C noktaları olarak düşünürsek, A noktasında doluluk oranı D iken C noktasında (D-0,01), B noktasında ise (D+0,01) olmaktadır. Her üç noktada arka arkaya alınan güç ölçümleri ile artış, azalış veya değişmezlik durumları aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi artı veya eksi ile işaretlenerek belirlenir. Dokuz farklı sonuç olasılığı ve anlamları Şekil 5.3'de gösterilmiştir. [13]

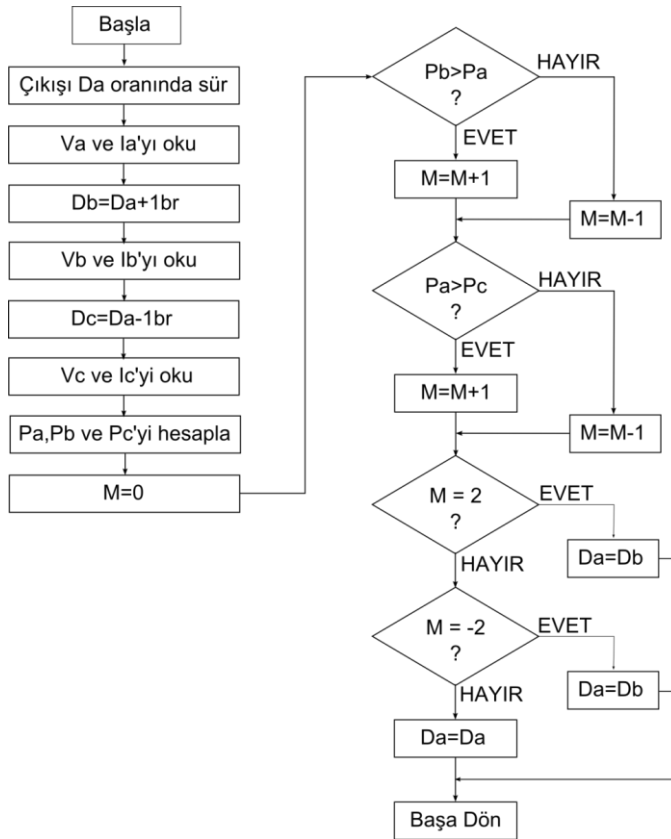


Şekil 5.3. Üç farklı noktada mümkün olan örnekleme durumları

Belirlenen üç nokta arasındaki işaretlemeler yapıldığında iki tane “+” işareti olduğunda A noktasında belirlenen doluluk oranı B noktasına, iki tane “-” işareti elde edildiğinde A noktasında elde edilen doluluk oranı C noktasına kaydırılır. İki işaretteki noktalardan biri “+” diğeri “-” olduğunda A noktasındaki doluluk oranı değiştirilmez.

Değiştir ve gözlemler algoritmasında iki farklı noktadan alınan güç değerleri kullanılmakta olduğu için karar verme aşamasında güç değeri yukarı ya da aşağı şekilde irdeleniyordu. Bu durumda, maksimum güç noktası etrafında sürekli bir salınım oluşmaktaydı [24]. Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma (Three-point weight comparison) yöntemi ile her karar verme aşamasında elde edilebilecek olan dokuz farklı durumdan beş tanesinde, sistem maksimum güç noktasında olduğunu anlayarak mevcut durumunu koruyor. Bu sayede maksimum güç noktasındaki salınımların önüne geçilmiş oluyor.

Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma yönteminin uygulaması Şekil 5.4'de verilmiş olan akış diyagramına göre yapılmıştır [13].



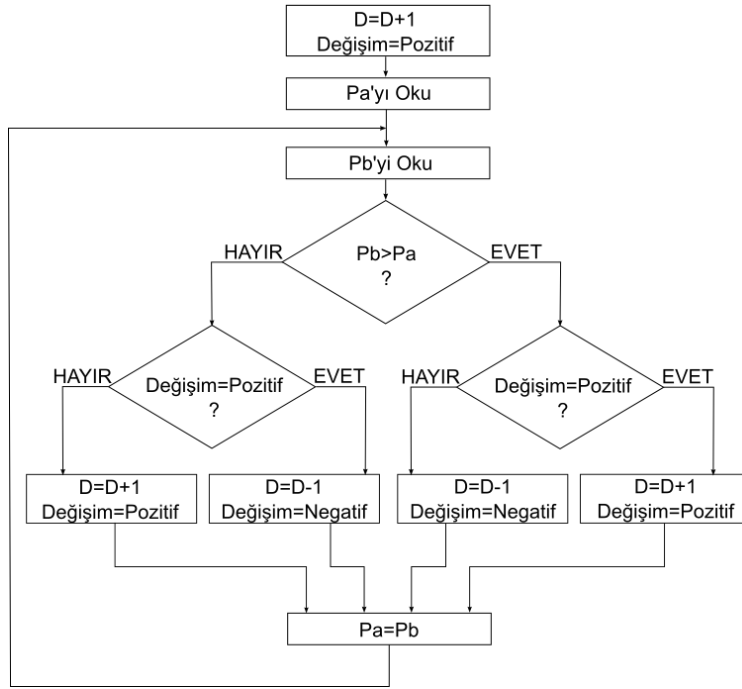
Şekil 5.4. Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma algoritması

Değiştir ve gözlemler yönteminin ani değişen hava koşullarında hatalı karar verme olasılığı bir önceki bölümde açıklanmıştı. Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma yönteminde üç farklı noktadan ölçüm alındığı için değiştir ve gözlemler yönteminde karşılaşılan yanlış karar verme olasılığının da önüne geçilmiştir. Ani hava değişimleri olduğunda, değiştir ve gözlemler yönteminde yanlış karar verme, yani çalışma gerilimini aksi yönde değiştirme olasılığı bulunurken, bu yöntem, bulunduğu mevcut durumu koruma yönünde hareket edecektir. Bu yöntemin bir diğer avantajı ise hatalı okumalar olduğunda da aynı şekilde mevcut durumu koruyarak, maksimum güç noktasını daha kararlı bir şekilde takip edebilmesidir.

5.3. Tepe Tırmanışı Yöntemi ve Uygulaması

Tepe tırmanışı (Hill Climbing) yöntemi [10], değiştir ve gözlemler (perturb and observation) yöntemi ile benzer yapıda bir algoritmadır. Yöntemin maksimum güç noktasına ulaşmak için izlediği yol şöyle özetlenebilir; Güneş panellerinden okunan güç değerinde bir önceki duruma göre artış olması durumunda bir önceki hareket yönünü referans alınır. Güçte azalma algılanırsa önceki duruma aksi yönde hareket edilir.

Bu yöntemde, değiştir ve gözlemler yönteminde olduğu gibi maksimum güç noktasının hangi tarafında olunduğunun önemi yoktur. Amaç hızlı bir şekilde gücün artış yönünü takip ederek maksimum güç noktasına ulaşmaktır. Şekil 5.5’de bu yönteme ilişkin akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.5. Tepe tırmanışı yöntemi akış şeması

Tepe tırmanışı yöntemi, değiştir ve gözlemler yöntemi ile karşılaştırıldığında her iki yöntemde maksimum güç noktasında salınım yapmaları, basit uygulanabilir olmaları gibi özellikleri bakımından benzer oldukları görülür. Ancak aralarındaki önemli fark değiştir ve gözlemler yönteminde iki farklı nokta arasında hem güç değerleri hem de gerilim değerleri kıyaslanmaktadır. Tepe tırmanışı yönteminde ise doluluk oranının değişimine göre yalnızca güç değerlerinin kıyaslaması yapılmaktadır. Algoritmanın özeti Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Tepe tırmanışı algoritmasının özeti

Güç değişimi	En son değiştirme	Bir sonraki değiştirme
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Güç artmakta veya azalmakta iken gerilimin sabit kaldığı anlar olabilir. Ya da kontrol devresinin gerilimdeki anlık değişimi algılayamadığı anlar olabilir. Değiştir ve gözlemler yönteminde bu tarz sıkıntıların önüne geçmek için doluluk oranı değişimi artırılarak değerlerdeki değişim miktarının daha algılanabilir olması sağlanabilir. Örneğin değiştir ve gözlemler yöntemi ile yapılmış olan çalışmada algoritmanın çalışabilmesi için doluluk oranı değişimini %2'ye getirmek gerekmişti. Ancak tepe tırmanışı yöntemine göre maksimum güç noktasının sağında veya solunda bulunmasının bir önemi yoktur. Bu yüzden gerilim değerinde kıyaslama yapılmayacağı için değişimleri algılamadaki hata oranı bu yöntem ile daha düşük olmakta ve doluluk oranı değişimi daha düşük seviyede tutulabilmektedir. Maksimum güç noktasında salınım yapan bir sistem için doluluk oranı değişiminin düşük olması ise salınımların genliğini azaltacaktır.

6. MGNİ REGÜLATÖR SİSTEMİNİN DENEYSEL SONUÇLARI

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında, hazırlanan test düzeneği ile MGNİ regülatör sisteminin maksimum güç noktasını yakalayıp yakalayamadığı test edilmiştir. Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında, uygulamaya dökülmüş olan üç farklı MGNİ algoritmasının karşılaştırmalı olarak testleri iki ayrı sistem üzerinde eş zamanlı olarak yapılmıştır. Yapılan test ile farklı algoritmalarından elde edilen sonuçlar ortaya koyularak, sistemin bir test düzeneği olarak kullanımı ele alınmıştır. Deneysel çalışmanın son aşamasında, sistemin elektrikli bir araç üzerinde uygulaması yapılmıştır.

6.1. Maksimum Güç Noktası Testi

Test iki aşamadan oluşmaktadır. Testin birinci aşamasında güneş pilinin gerilim-akım karakteristiği çıkarılmıştır. İkinci aşamada ise MGNİ regülatör sistemi devreye alınarak hangi güç noktasında çalışıldığının bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen güç noktasının ilk aşamada alınan gerilim akım eğrisindeki maksimum güç noktası ile uyduğu kontrol edilmiştir.

Test için kullanılan donanımların listesi aşağıda verilmiştir;

- MGNİ regülatör sistemi
- İki Adet 130 Watt güneş paneli
- Elektronik Yük (Agilent N3304A)
- Multimetre (Fluke 110)
- 36 Voltluk Akü grubu

Testin birinci aşamasında Şekil 6.1’de gösterilmiş olan test düzeneği kurulmuştur.



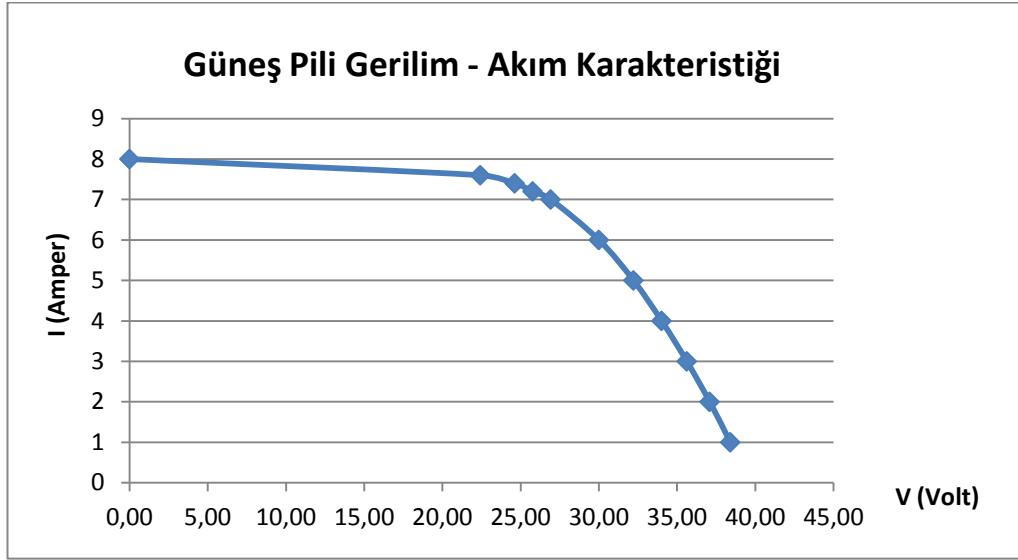
Şekil 6.1. Maksimum güç noktası testi - birinci aşama test düzeneği

Testte güneş panelleri seri olarak bağlanmış olup çıkışları direk olarak elektronik yüke bağlanmıştır. Elektronik yük sabit akım modunda iken, akım sıfırdan itibaren kademe kademe artırılarak güneş panelinin gerilimi okunmuştur. Bunun sonucunda Çizelge 6.1’de verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6.1. Test edilen güneş pilinin güç karakteristiği

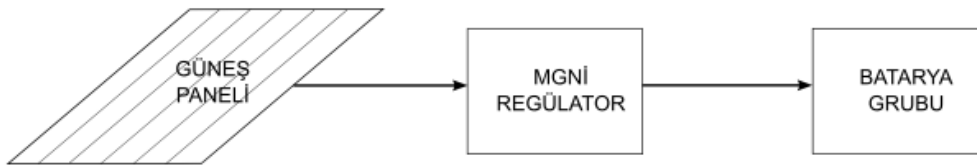
Akım(A)	Gerilim(V)	Güç(W)
1	38,40	38,40
2	37,08	74,16
3	35,62	106,86
4	34,01	136,04
5	32,21	161,05
6	30,00	180,00
7	26,92	188,44
7,2	25,77	185,54
7,4	24,62	182,19
7,6	22,42	170,39
8	0,00	0,00

Çizelge 6.1’deki verilere göre güneş pilinin o anki koşullarda maksimum güç noktası yaklaşık olarak görülmektedir. Ölçülen değerlere göre güneş panelinin o anki gerilim-akım karakteristiği aşağıdaki grafikte daha net olarak görülmektedir.



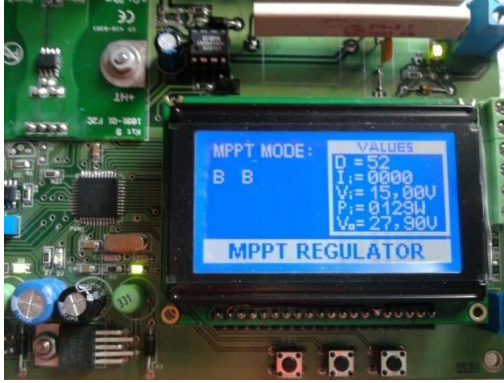
Şekil 6.2. Test edilen güneş pilinin gerilim-akım karakteristiği

Testin ikinci aşaması, hava koşullarının değişmemesine dikkat edilerek, birinci testin hemen ardından yapılmıştır. Bu aşamada MGNİ regülatör sisteminin maksimum güç noktasında çalıştığını test etmek amacıyla Şekil 6.3’de gösterilem test düzeneği kurulmuştur.



Şekil 6.3. Maksimum güç noktası testi - ikinci aşama test düzeneği

Bu düzenekte güneş panellerinin MGNİ regülatör sistemi ile bağlantısı yapılmış, MGNİ regülatör sisteminin çıkışına ise deşarj edilmiş üç tane 12 Voltluk akünün seri bağlanması ile elde edilen 36 Voltluk akü grubu bağlanmıştır. MGNİ regülatör sistemi Resim 6.1’den de görüldüğü gibi, kullanıcı arayüzündeki B kodu ile gösterilen üç nokta ağırlıklı karşılaştırma (three-point weight comparison) algoritması seçilerek çalıştırılmıştır.



Resim 6.1. MGNİ regülatör sistemi

Bu aşamada MGNİ cihazı çalıştırılarak çalışma noktasındaki gerilim ve akım değerleri okunmuştur. Buna göre alınan sonuçlar Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. MGNİ regülatör çalışma noktası

MGNİ REGULATÖR ÇALIŞMA NOKTASI		
Akım(A)	Gerilim(V)	Güç(W)
6,8	27,4	186,32

Deneyin ilk aşamasında güneş panellerinden okunan maksimum güç değeri 188,44 iken MGNİ regülatör sistemin panellerden çektiği güç 186,32 olarak ölçülmüş olup MGNİ regülatör sisteminin maksimum güç noktasına çok yakın bir değerde çalıştığı görülmüştür.

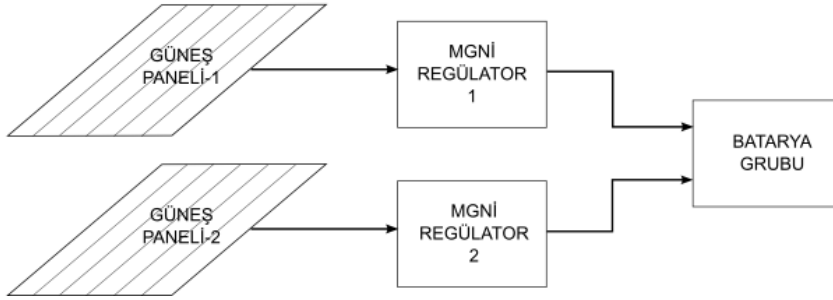
6.2. MGNİ Algoritmalarının Karşılaştırmalı Testi

Bu test ile farklı algoritmaların iki ayrı MGNİ regülatör sistemi üzerinde aynı anda çalıştırılarak, sonuçların karşılaştırmalı olarak alınması amaçlanmıştır. Test için kullanılan donanımların listesi aşağıda verilmiştir;

- İki adet MGNİ regülatör sistemi
- İki Adet 130 Watt güneş paneli

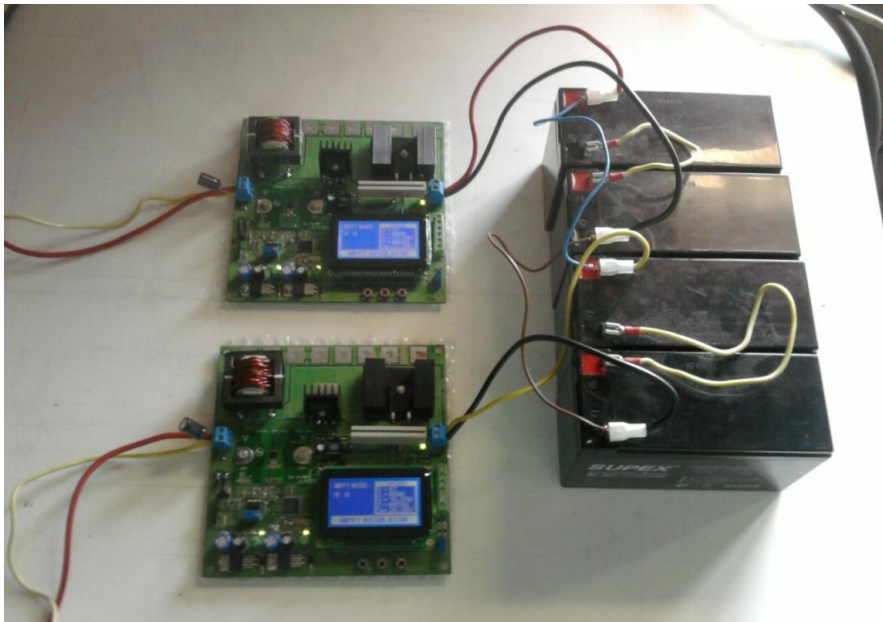
- Multimetre (Fluke 110)
- 24 Voltluk Akü grubu

Test düzeneği Şekil 6.4’de gösterildiği gibi hazırlanmıştır.



Şekil 6.4. Algoritmaların karşılaştırılmaları için test düzeneği

Düzenekte iki adet güneş panelinin her biri, bir MGNI regülatör sisteminin girişine bağlanmıştır. MGNI regülatörlerinin çıkışları ise iki tane seri, iki tane paralel olmak 12 Voltluk aküden oluşan 24 Voltluk ortak akü grubuna ortak bağlanmıştır. Düzeneğe ilişkin görüntü Resim 6.2’de yer almaktadır.



Resim 6.2. MGNI algoritmalarının karşılaştırmalı testi

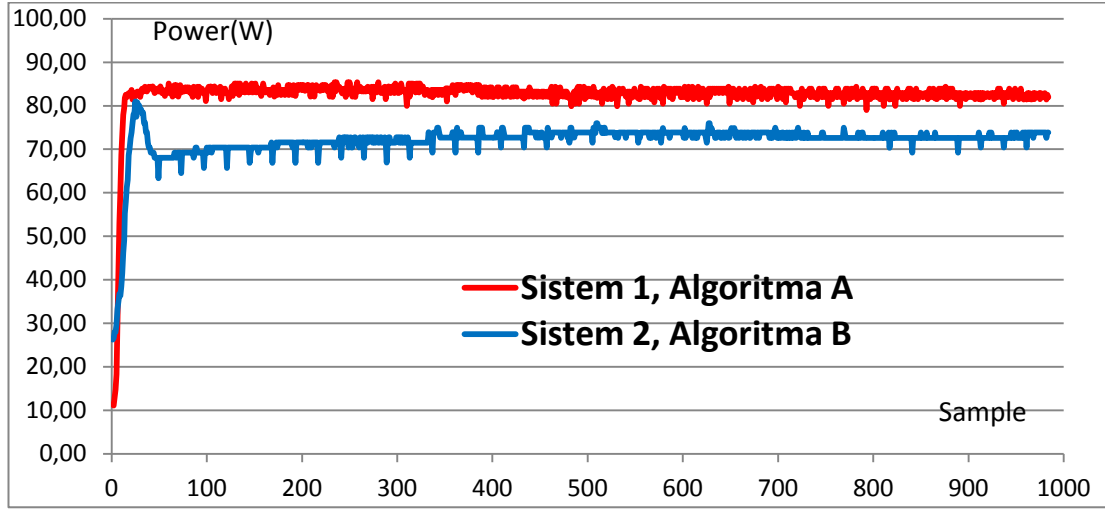
Düzenekteki güneş paneli ve MGNİ regülatörden oluşan iki ayrı alt sistem bulunmaktadır. Her bir alt sistemde bir algoritma çalıştırılarak üç farklı algoritmanın karşılaştırmalı olarak test edilmesi sağlanmıştır. Alt sistemler arasında küçük farklar olabileceği için çaprazlama test senaryoları belirlenerek, algoritmaların her iki sistem üzerinde de çalıştırılması sağlanmıştır. Bu durum Çizelge 6.3’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.3. Karşılaştırmalı test senaryoları

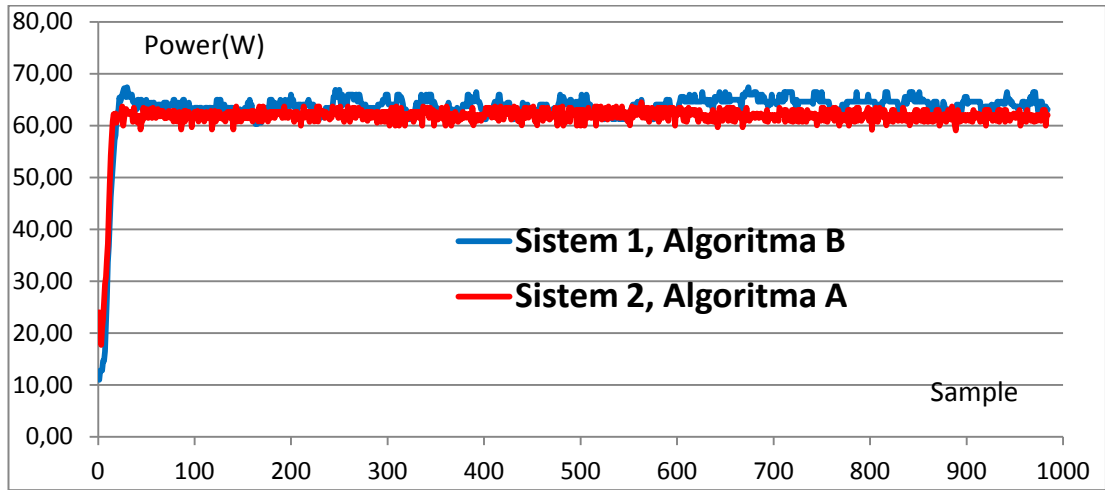
Senaryo-1	Sistem-1	Algoritma A	Değiştir ve gözlemle
	Sistem-2	Algoritma B	Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma
Senaryo -2	Sistem-1	Algoritma B	Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma
	Sistem-2	Algoritma A	Değiştir ve gözlemle
Senaryo -3	Sistem-1	Algoritma A	Değiştir ve gözlemle
	Sistem-2	Algoritma C	Tepe tırmanışı
Senaryo -4	Sistem-1	Algoritma C	Tepe tırmanışı
	Sistem-2	Algoritma A	Değiştir ve gözlemle
Senaryo -5	Sistem-1	Algoritma B	Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma
	Sistem-2	Algoritma C	Tepe tırmanışı
Senaryo -6	Sistem-1	Algoritma C	Tepe tırmanışı
	Sistem-2	Algoritma B	Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma

6.1.1. Algoritma A ve B’nin karşılaştırılması

Test düzeneğinde ilk olarak senaryo-1 hazırlanmış ve sistemler aynı anda çalıştırılarak panel güç değerleri her örneklemede kaydedilmiştir. Kayıtlar alındıktan sonra senaryo-2 hazırlanarak sistemler tekrar çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Senaryo-1 test sonucu



Şekil 6.6. Senaryo-2 test sonucu

Elde edilen sonuçlara göre güneş panellerinden çekilen ortalama güçler Çizelge 6.4’de verilmiştir.

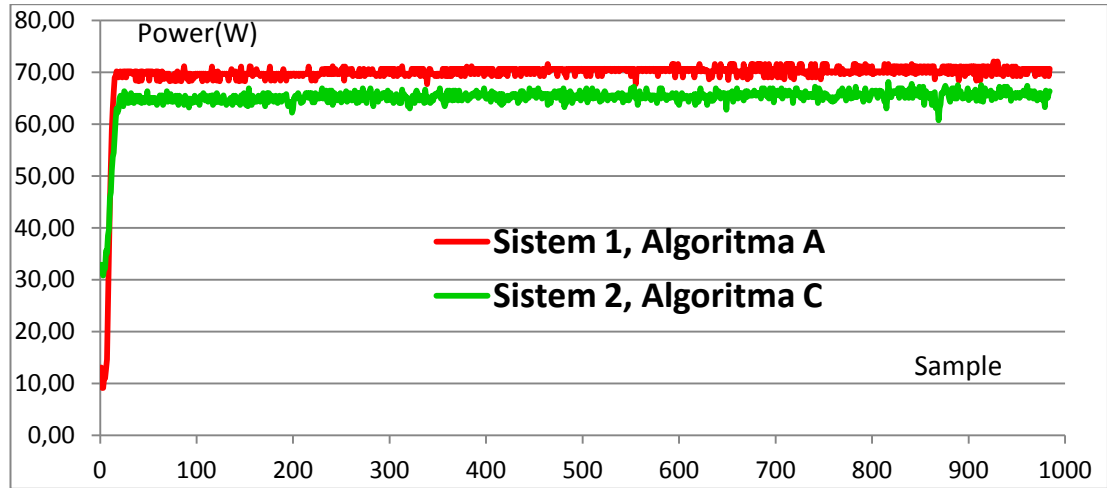
Çizelge 6.4. Senaryo-1 ve Senaryo-2 de ortalama güç değerleri

	Ortalama Güç $P_{av}(A)$	Ortalama Güç $P_{av}(B)$
Senaryo-1	82,6 W	71,9 W
Senaryo-2	61,6 W	63,4 W

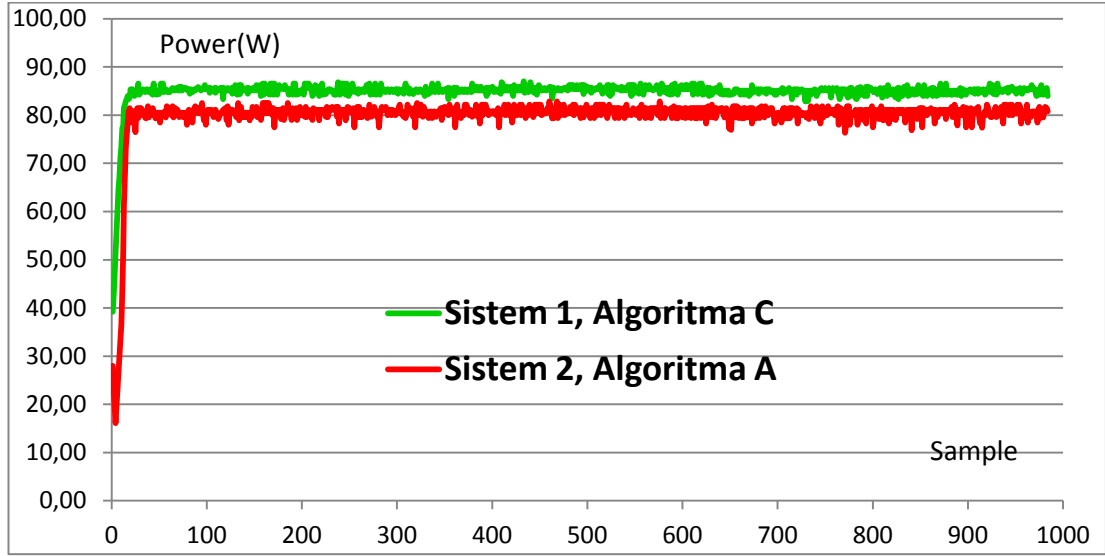
Sonuçlara bakıldığında A algoritmasının B'ye göre daha etkili olduğunu görüyoruz. B algoritmasının ise A'ya göre daha az salınım yaptığını ancak daha fazla hatalı karar verdiğini görüyoruz. B algoritmasının A'ya göre geride kalmasına birkaç neden söylenebilir. Yapılan test grafikten de görüldüğü üzere sabit hava koşullarında yapıldığı için B algoritmasının ani değişen hava şartlarındaki üstünlüğü burada kendini gösterememiştir. Bunun yanında B algoritmasında doluluk oranı (duty cycle) %1 olarak uygulanmıştı. %1 lik doluluk oranı değişimi, kontrol devresinin güç değerini okumadaki hassasiyetinden dolayı bazı noktalarda yetersiz kalmıştır. Değişim oranı artırılarak veya daha hassas okuma yapabilen bir kontrol devresi kullanılarak bu sorunun önüne geçilebilir.

6.1.2. Algoritma A ve C'nin karşılaştırılması

Test düzeneğinde senaryo-3 ve senaryo-4 sırasıyla çalıştırılarak panel güç değerleri her örneklemede kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Senaryo-3 test sonucu



Şekil 6.8. Senaryo-4 test sonucu

Elde edilen sonuçlara göre güneş panellerinden çekilen ortalama güçler Çizelge 6.5’de verilmiştir.

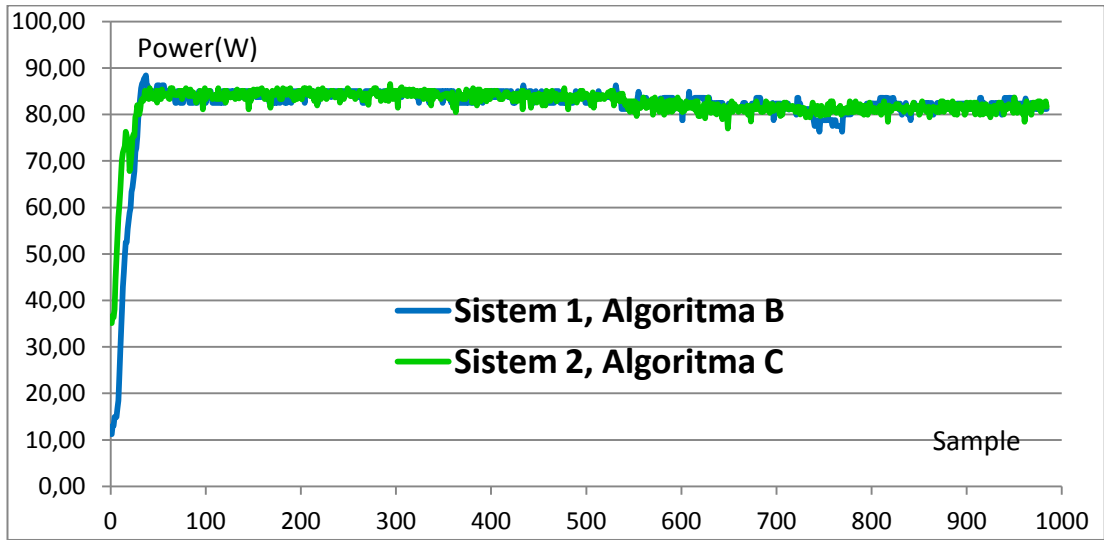
Çizelge 6.5. Senaryo-3 ve Senaryo-4 de ortalama güç değerleri

	Ortalama Güç $P_{av}(A)$	Ortalama Güç $P_{av}(C)$
Senaryo-3	69,5 W	65,0 W
Senaryo-4	79,9 W	84,9 W

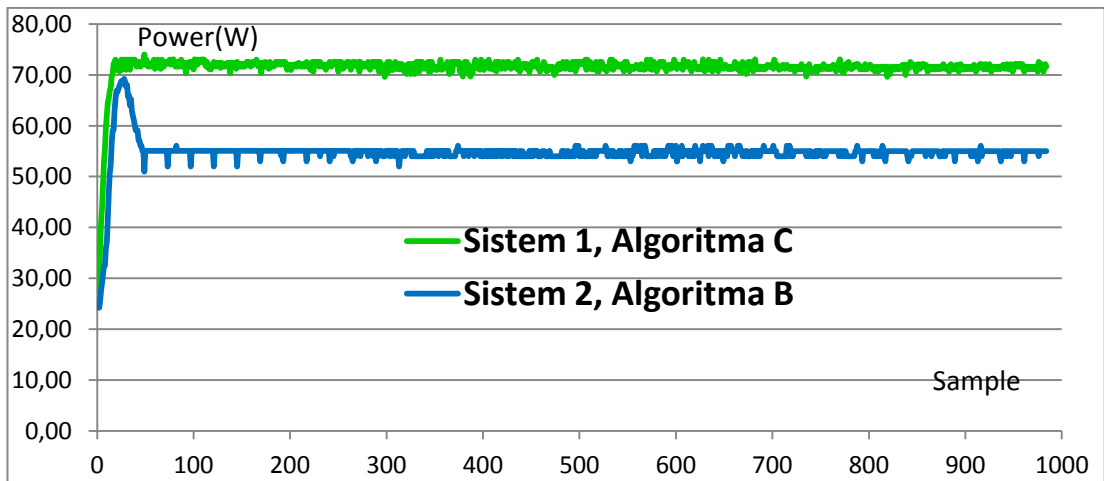
A ve C algoritmalarından elde edilen sonuçlara çaprazlama bakılınca her ikisinde de birbirlerine göre yaklaşık olarak aynı performansı verdiği görülüyor. Ancak A algoritması, doluluk oranı değişimi %2 ile çalıştırılabilmişken C algoritmasında %1 değişim oranı yeterli olmuştur. Bu çevreveden bakıldığında çok hassas okuma yapılamayan sistemler için C algoritmasının daha elverişli olduğunu görüyoruz.

6.1.3. Algoritma B ve C'nin karşılaştırılması

Test düzeneğinde senaryo-5 ve senaryo-6 sırasıyla çalıştırılarak panel güç değerleri her örneklemede kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Senaryo-5 test sonucu



Şekil 6.10. Senaryo-6 test sonucu

Elde edilen sonuçlara göre güneş panellerinden çekilen ortalama güçler Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Senaryo-5 ve Senaryo-6'da ortalama güç değerleri

	Ortalama Güç $P_{av}(B)$	Ortalama Güç $P_{av}(C)$
Senaryo-5	81,86 W	82,32 W
Senaryo-6	54,74 W	71,44 W

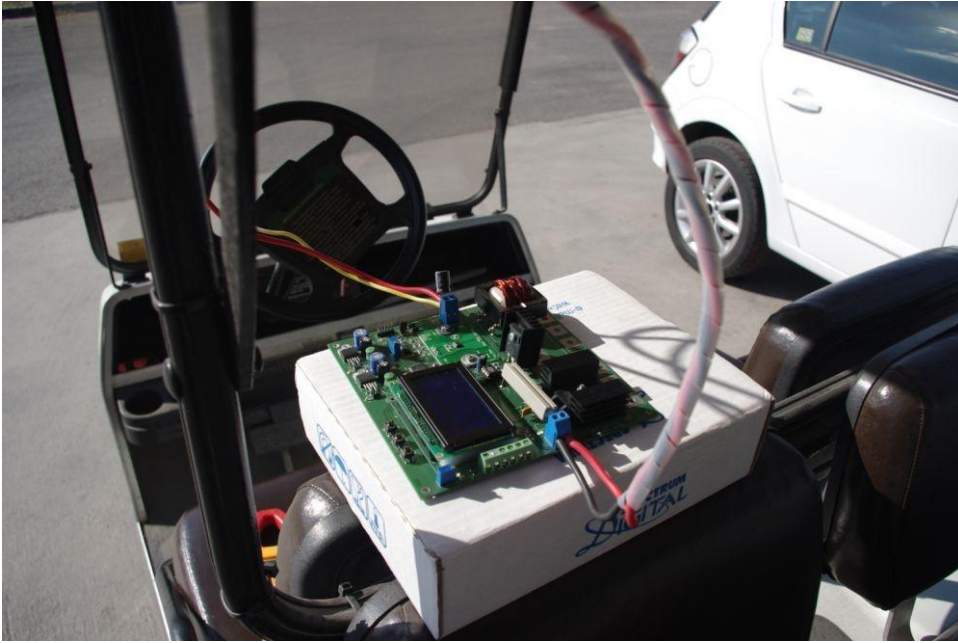
Tüm test sonuçlarına bakıldığında sistem 1'in genel olarak sistem 2'ye göre daha yüksek güç grafiğine sahip olduğu görülüyor. Bu fark büyük oranda sistem 1'e bağlı olan panelin çıkış gücünün diğerinden daha yüksek olmasından kaynaklanıyor. Ancak senaryo-5 ve senaryo-6 testlerinde alınan sonuçlara göre C algoritması hemen hemen her iki sistemde de B algoritmasından daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu sonuca göre testin yapıldığı hava koşulları ve mevcut kontrol devresinin sahip olduğu okuma hassasiyeti ile C algoritmasının B'ye göre daha etkili olduğu söylenebilir.

6.3. Elektrikli Araç Üzerindeki Uygulama

MGNİ regülatör sistemi, amaca uygun olarak elektrikli bir araç üzerinde çalıştırılmıştır. Araç golf sahalarında kullanılan türden elektrikli bir araçtır. Aracın üzerine üç adet güneş paneli paralel bağlantılı olarak monte edilmiştir. Güneş pillerinden elde edilen elektrik enerjisi, MGNİ regülatör sistemi ile araçta bulunan 36 Volt'luk batarya grubunu doldurmaktadır. Deney çalışması sırasında alınan fotoğraflar Resim 6.3 ve Resim 6.4'de gösterilmiştir.

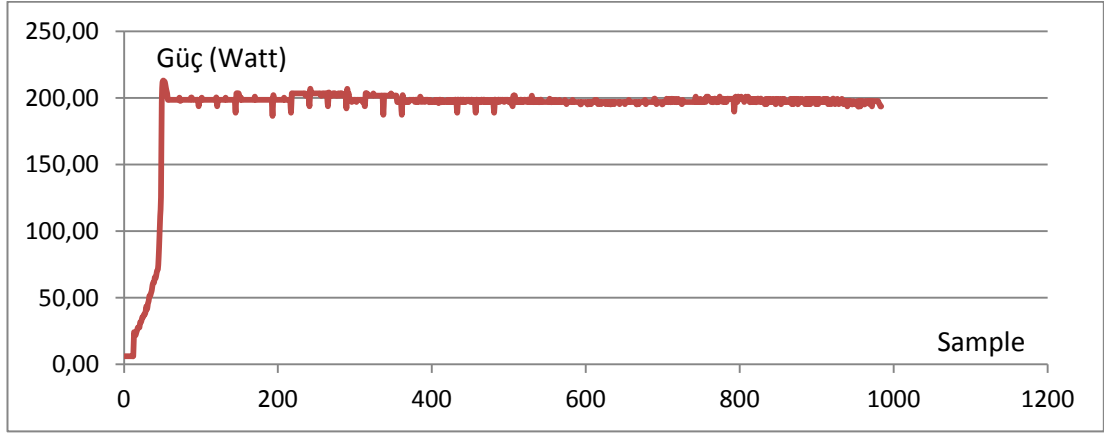


Resim 6.3. Elektrikli araç uygulaması - 1



Resim 6.4. Elektrikli araç uygulaması - 2

Sistem üç nokta ağırlıklı karşılaştırma yöntemi ile çalıştırılmış ve güneş panelinden çekilen güç değerleri örneklenmiştir. Elde edilen güç değerlerinin eğrisi Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Güneş paneli güç değerleri

Sistem bu şekilde çalıştırıldıktan hemen sonra aracın üzerinde bulunan üç adet güneş paneli seri bağlantı yapılmış, MGNİ regülatör sistemi devreden çıkarılarak batarya grubuna direk bağlantı yapılmıştır. Bu durumda güneş panelinin akımı 2,8A ve gerilimi 40,4 Volt olarak ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında, güneş panellerinden çekilen güç değeri, MGNİ regülatör sistemi devrede olduğunda yaklaşık 200 Watt iken, sistem devreden çıkarılarak direk bağlantı yapıldığında yaklaşık 115 Watt olduğu görülmüştür.

7. SONUÇ

Bu tez çalışmasında öncelikli olarak bir MGNİ regülatör platformu oluşturularak, bu platform üzerinde farklı MGNİ algoritmalarının çalıştırılabilmesi hedeflenmiştir. Bunun yanında bu MGNİ regülatör sisteminin akülü bir araç üzerinde kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

Önce literatürdeki mevcut çalışmalar üzerinden güneş pilinin güç karakteristiği incelenmiş ve maksimum güç noktasının tarifi yapılmıştır. Ardından uygulamayla ilgili yöntemlerden bahsedilmiş ve maksimum güç noktası takibi için kullanılan çeşitli algoritmalar anlatılmıştır. Çalışmada yükselten dönüştürücü yöntemi ile güneş panellerinin geriliminden daha yüksek gerilimlere regülasyon yapabilen bir sistem tasarımı yapılmıştır. Sistemin tasarımı yapılırken akülü bir aracın gereksinimlerini de karşılayabilecek olmasına dikkat edilmiştir.

Deneysel çalışmaların birinci aşamasında geliştirilen sistemin maksimum güç noktasında çalıştığı, hazırlanan düzenekte test edilmiştir. İkinci aşamada çeşitli algoritmaların karşılaştırmalı olarak testleri iki farklı sistem üzerinde eş zamanlı olarak yapılmıştır. Son olarak, sistemin elektrikli bir araç üzerinde çalıştırılması sağlanmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre uygulamanın hedeflenen şekilde maksimum güç noktasında çalıştığı ve elektrikli araç üzerindeki uyumluluğu görülmüştür. Bunun yanında sistemin, farklı algoritmaların test edilebileceği bir platform olarak kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmanın sonrasında, geliştirilen MGNİ regülatör sistemi ile algoritmaların, farklı hava koşullarına göre karşılaştırmaları yapılabilir. Bunun yanında sistemdeki yarı iletken kayıplarının ve çekirdek kayıplarının daha detaylı olarak incelenmesine ve kayıpların azaltılmasına ihtiyaç vardır. Zaman kısıtı nedeni ile bu konular üzerine fazla çalışma yapılamamıştır. Konu üzerinde çalışacak tez öğrencileri için bu alanlar tamamlayıcı bir çalışma olarak görülebilir.

KAYNAKLAR

1. Fraas, L., Partain, L., "Introduction to solar cells", Solar Cells And Their Applications Second Edition, Kai Chang, *John Wiley & Sons, Inc.*, Canada, 3-16, (2010).
2. Brendel, R., "Introduction", Thin-Film Crystalline Silicon Solar Cells , *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Weinheim, 1, (2003).
3. Goetzberger, A., Knobloch, J., Voß, B., "Crystalline Silicon Solar Cells", Rachel Waddington, *John Wiley & Sons*, Chichester, xi-3, (1998).
4. González-Longatt, F. M., "Model of photovoltaic module in matlab™", *Proceeding of 2nd CIBELEC Conference*, 1-5 (2005).
5. Nafeh, A. E.-S. A., "Novel maximum-power-point tracking algorithm for grid-connected photovoltaic system", *International Journal of Green Energy*, 7:6, 600-614, (December 2010).
6. ESRAM, T., Chapman, P. L., "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22:2, 439-449, (June 2007).
7. Faranda, R., Leva, S., "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems", *Wseas Transactions On Power Systems*, 1:3, 446-455 (June 2008).
8. Liu, C., Wu, B., Cheung, R., "Advanced Algorithm For Mppt Control Of Photovoltaic Systems", *Canadian Solar Buildings Conference*, Montreal, 2-4, (August 2004).
9. Hohm, D. P., Ropp, M. E., "Comparative study of maximum power point tracking algorithms", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11:1, 47-62, (2003).
10. Yu, T.-C., Lin, Y.-C., "A Study on Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems", *Department of Electrical Engineering Lunghwa University of Science and Technology*, 27-35, (December 2010).
11. Yu, G.-J., Jung, M.-W., Song, J., Cha, I.-S., Hwang, I.-H., "Maximum power point tracking with temperature compensation of photovoltaic for air conditioning system with fuzzy controller", *Proc. 25th IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, Washington, 1429-1432, (1996).
12. D'Souza, N. S., Lopes, L. A. C., Liu, X., "An intelligent maximum power point tracker using peak current control", *36th Annual IEEE Power Electron. Specialists Conf.*, 172-177, (2005).

13. Jiang J.-A., Huang T.-L., Hsiao Y.-T., Chen C.-H., "Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power Systems", *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 8:2, 147-153, (2005).
14. Rashid, M. H., "DC DC Converters", Power Electronics Handbook, *Academic Press*, San Diego, 215-216, (2001).
15. Erickson, R. W., Maksimovic, D., "Fundamentals of Power Electronics Second Edition", *Kluwer Academic Publishers*, USA, 22-27, 107-125, (2001).
16. Pressman, A. I., Billings, K., Morey, T., "Transformers and Magnetics Design", Switching Power Supply Design Third Edition, *The McGraw-Hill Companies*, Newyork, 285-422, (2009).
17. Mclyman, C. WM. T., "Magnetic Cores", Transformer and Inductor Design Handbook Third Edition, *Kg Magnetics, Inc.*, California, (2004).
18. Rashid, M. H., "Power Electronics", *Prentice-Hall International, Inc.*, USA, 549-551, (1988)
19. Hasaneen, B. M., Mohammed, A. A. E., "Design and Simulation of DC/DC Boost Converter", *SelectedWorks*, 337-338, (December 2008)
20. Sridhar, R., Jeevananathan, Dr., Selvan, N. T., Banerje, S., "Modeling of PV Array and Performance Enhancement by MPPT Algorithm", *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, 7:5, 35-39, (September 2010)
21. Wasynczuk, O., "Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems", *IEEE Trans. Power App. Syst.*, PAS-102:9, 3031-3037, (September 1983).
22. Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., Vitelli, M., "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method", *IEEE Trans. Power Electron.*, 20:4, 963-973, (July 2005).
23. Yafaoui, A., Wu, B., Cheung, R., "Implementation of maximum power point tracking algorithm for residential photovoltaic systems", *Second Canadian Solar Buildings Conference*, Calgary, 1-2, (June 2007)
24. Koutroulis, E., Kalaitzakis, K. and Voulgaris, N. C., "Development of a Microcontroller-Based Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 16:1, 46-54, (January 2001).

EKLER

EK-1. Güneş paneli katalog bilgileri

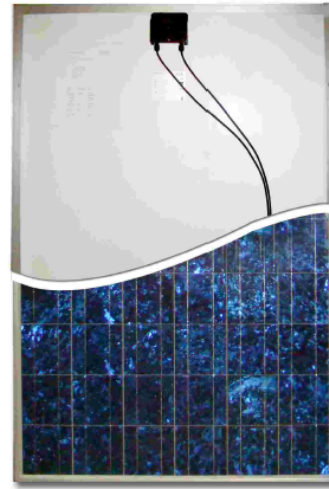


Solen WS 130

Photovoltaic Module
Specification

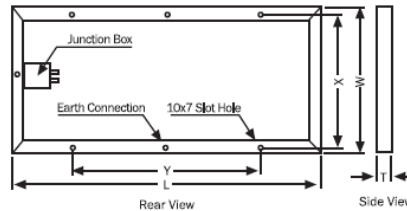
Other Characteristics

Type of Cell	: Mono / Multi Crystalline Silicon
Front Face	: Tempered Glass (Low Iron)
Encapsulate	: Ethylene Vinyl Acetate
Frame	: Anodized Aluminium
Junction Box	: Weather Proof Nylon 6
Temp. Coefficients	: Voltage -0.123 V / °K Current +4.4 mA / °K Power -0.47% / °K
NOCT	: 47+/-2 °C



Electrical Characteristics *	WS-130
Power (Pm) in Watts (nominal)	130
Open Circuit Voltage (Voc) in Volts	21
Short Circuit Current (Isc) in Amps	8.8
Voltage at Maximum Power (Vmp) in Volts	17
Current at Maximum Power (Imp) in Amps	7.67
Maximum System Voltage	1000V
Physical Parameters (Refer drawing below)	
Solar Cells per Module (Units)	36
Length x Width x Thickness (L x W x T) mm	1495 x 675 x 35
Weight - Kg	11.75
Mounting Holes Pitch (Y) - mm	915
Mounting Holes Pitch (X) - mm	627
Area - Sq. M	1.00
Junction Box	3 T & 2 diodes

Mounting Details

All dimensions in mm and tolerances ± 2 mm

* Measurement Tolerance on Power +/- 5%.

All electrical parameters specified at STC :25°C
cell temperature; 100mW / cm² irradiance; AM 1,5

- Certifications: IEC 61215 / IEC 61730 - 1 / IEC 61730 - 2 / TUV Safety Class II
- The Standard range of modules is supplied without diodes. However, diodes can be provided on specific customer request at extra cost.
- All modules of 120Wp and above are supplied with screw-less hollow section frames.
- Due to constant product modifications, SOLEN reserves the right to amend the above specifications without prior notice.
- Warranty : Up to 25 Years Limited Extended Warranty



SOLEN Solar Energy

Head Office : Bağdat Caddesi 218 / 3 Çiftelavuzlar / İstanbul
Tel: +90.216 302 33 73 • Fax: +90.216 302 33 20
www.solenerji.com.tr • bilgi@solenerji.com.tr

EK-2. Değiştir ve gözlemle yöntemi yazılım kodları

```

void Mppt_Control_1()
{
    // 1) Duty Cycle'in başlangıçta belli bir değerde olmadığı kontrol edilir
    if(DutyCycle<DUTY_ALT_SINIR)
    {
        DutyCycle=DUTY_ALT_SINIR+20;
        Update_Pwm();
        Va=0;
        Ia=0;
        Pa=0;
    }
    // 2) P_new oku
    GirisVoltaji=Giris_Voltaji();
    GirisAkimi=Giris_Akimi();
    Vb=GirisVoltaji;
    Ib=GirisAkimi;
    Pb=(unsigned long)Vb*(unsigned long)Ib;
    // Test değerleri
    Vtest = Vb >> 2;
    Itest = Ib >> 2;
    Ptest = Vtest * Itest;
    // 3) P_new>P_old
    if(Pa<Pb)
    {
        // 3.1) V_new > V_old
        if(Vb<=Va)
        {
            Va=Vb;
            Pa=Pb;
            if(DutyCycle<DUTY_UST_SINIR) DutyCycle+=2;
        }
    }
}

```

EK-2. (Devam) Değiştir ve gözlemle yöntemi yazılım kodları

```
        Update_Pwm();
    }
    else
    {
        Va=Vb;
        Pa=Pb;
        if(DutyCycle>DUTY_ALT_SINIR) DutyCycle-=2;
        Update_Pwm();
    }
}
else if(Pa>Pb)
{
    // 3.1) V_new < V_old
    if(Vb>Va)
    {
        Va=Vb;
        Pa=Pb;
        if(DutyCycle<DUTY_UST_SINIR) DutyCycle+=2;
        Update_Pwm();
    }
    else
    {
        Va=Vb;
        Pa=Pb;
        if(DutyCycle>DUTY_ALT_SINIR) DutyCycle-=2;
        Update_Pwm();
    }
}
}
```

EK-3. Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma yöntemi yazılım kodları

```

// 1) Duty Cycle'ı %Da değerine getir ve çıkış üret
    DutyCycle=Da;
    DaTemp=Da;
    Update_Pwm();
// 2) Giriş Gerilimini ve Akımını > Va, Ia
    DelayMs(1);
    Va=Giris_Voltaji();
    Ia=Giris_Akimi();
// Test değerleri
    Vtest = Va >> 2;
    Itest = Ia >> 2;
    Ptest = Vtest * Itest;
// 3) Çıkışı %Da+1 değerine ayarla
    if((Da+PERTURB_DUTY)<DUTY_UST_SINIR)
        Db=Da+PERTURB_DUTY;
    else
        Db=Da;
    DutyCycle=Db;
    Update_Pwm();
// 4) Giriş Gerilimini ve Akımını Oku > Vb, Ib
    DelayMs(1);
    Vb=Giris_Voltaji();
    Ib=Giris_Akimi();
// 5) Çıkışı %Da-1 değerine ayarla
    if((Da-PERTURB_DUTY)>DUTY_ALT_SINIR)
        Dc=Da-PERTURB_DUTY;
    else
        Dc=Da;
    DutyCycle=Dc;
    Update_Pwm();

```

EK-3.(Devam) Üç nokta ağırlıklı karşılaştırma yöntemi yazılım kodları

```
// 6) Giriş Voltajını ve Akımını Oku > Vc, Ic
    DelayMs(1);
    Vc=Giris_Voltaji();
    Ic=Giris_Akimi();
// 7) Güçleri Hesapla Pa,Pb,Pc
    Pa=(unsigned long)Va*(unsigned long)Ia;
    Pb=(unsigned long)Vb*(unsigned long)Ib;
    Pc=(unsigned long)Vc*(unsigned long)Ic;
// 8) M=2
    M=2;
// 9) Pb>=Pa ise M=M+1 değilse M=M-1
    if(Pb>=Pa) M++;
    else M--;
// 10) Pa>Pc ise M=M+1 değilse M=M-1
    if(Pa>Pc) M++;
    else M--;
// 11) Yeni Da değerini belirle
    if(M==4)
        Da=Db;
    else if(M==0)
        Da=Dc;
    if(DaTemp!=Da)
    {
        DutyCycle=Da;
        // Duty cycle değerini güncelle
        Update_Pwm();
    }
```

EK-4. Tepe tırmanışı yöntemi yazılım kodları

```

void Mppt_Control_3()
{
    // 1) Duty Cycle'in başlangıçta belli bir değerde olmadığı kontrol edilir
    if(DutyCycle<DUTY_ALT_SINIR)
    {
        DutyCycle=DUTY_ALT_SINIR+25;
        Update_Pwm();
        Va=0;
        Ia=0;
        Pa=0;
    }
    // 2) P_new oku
    GirisVoltaji=Giris_Voltaji();
    GirisAkimi=Giris_Akimi();
    Vb=GirisVoltaji;
    Ib=GirisAkimi;
    Pb=(unsigned long)Vb*(unsigned long)Ib;
    // Test değerleri
    Vtest = Vb >> 2;
    Itest = Ib >> 2;
    Ptest = Vtest * Itest;
    if(Pa<Pb)
    {
        if(CountMod==1)
        {
            Va=Vb;
            Pa=Pb;
            if(DutyCycle<DUTY_UST_SINIR)
                DutyCycle+=PERTURB_DUTY;
            // Duty cycle değerini güncelle

```

EK-4.(Devam) Tepe tırmanışı yöntemi yazılım kodları

```
        Update_Pwm();
        CountMod=1;
    }
else
{
    Va=Vb;
    Pa=Pb;
    if(DutyCycle>DUTY_ALT_SINIR)
        DutyCycle-=PERTURB_DUTY;
    // Duty cycle değerini güncelle
    Update_Pwm();
    CountMod=0;
}
}
else if(Pa>Pb)
{
    if(CountMod==0)
    {
        Va=Vb;
        Pa=Pb;
        if(DutyCycle<DUTY_UST_SINIR)
            DutyCycle+=PERTURB_DUTY;
        // Duty cycle değerini güncelle
        Update_Pwm();
        CountMod=1;
    }
else
{
    Va=Vb;
    Pa=Pb;
```

EK-4.(Devam) Tepe tırmanışı yöntemi yazılım kodları

```
        if(DutyCycle>DUTY_ALT_SINIR)
            DutyCycle-=PERTURB_DUTY;
        // Duty cycle değerini güncelle
        Update_Pwm();
        CountMod=0;
    }
}
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BÜLBÜL, AHMET BAHADIR
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 17.02.1981 Konya
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (505) 788 12 47
e-mail : bahadirbulbul@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	G. Ü. El-Elektronik Müh.	2006
Lise	Mobil Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	ESDAŞ A.Ş.	ARGE Mühendisi
2008-2011	A-TEL Telekomünikasyon	ARGE Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce